

képes felérni a csúcásra. A fehér lyuk eseményhorizontja ott van, ameddig a csúcstól meg lehet közelíteni. A fehér lyukak nem stabilak, nem léteznek a természetben.

Az eseményhorizontot folyó-hasonlással is lehet szemléltetni. A folyóban halak úsznak felfelé, maximális sebességgel. Ahogy haladnak felfelé, a folyó egyre gyorsabban folyik szembe, egy ponton sebessége megegyezik a halakéval. Ez lesz a fehér lyuk eseményhorizontja, a halak ennél a pontnál nem tudnak tovább jutni. *T. G. Philbin* és munkatársai (St. Andrews Egyetem, Skócia) mikrostrukturált optikai kábelben lézermimpulzusokkal valósították meg a fehér lyuk eseményhorizontját, eredményüket a *Science* közölte 2008 márciusában. A kábelen elindított infravörös impulzus olyan intenzív volt, hogy megváltoztatta a fény

haladási sebességét a kábelben. Az utána küldött második, kissé hosszabb hullámhosszú impulzus az elsőnél gyorsabban haladt előre, majd azt utolérve lelassult, egy ponton pontosan megegyezett a két impulzus sebessége. Ezen az eseményhorizontnak megfelelő ponton a második impulzus rövidebb hullámhosszúvá nyomódott össze és az első impulzushoz képest lassabban haladt tovább, vagyis nem tudott feljutni a „hegy csúcására”.

A kísérletezők következő célja a Hawking-sugárzás kimutatása. A fehér lyuk analogonnak is sugározni kell. A kábelben gyorsan változó sebességgel haladó fény részecskéket szabadít ki a vákuumból. Ezek gyenge, de a számítások szerint észlelhető ultraibolya sugárzást adnak. Ennek kimutatására, a Hawking-sugárzás észlelésére készülnek.

A FIZIKA TANÍTÁSA

KULCSOK A FIZIKÁHOZ

Az MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézete (MTA MFA) idén immár második alkalommal szervezi meg az *MFA Nyári Iskola* nevű tudományos kutatótáborát érdeklődő középiskolás fiatalok számára (Csillebérc, 2009. június 22–26., honlap: <http://alag3.mfa.kfki.hu/mfa/nyariiskola>). Célunk, hogy a gyerekek minél korábban beleszólhassanak a fizika és más természettudományok finomságaiba, hogy még az előtt próbára tehessék tehetségüket és képességeiket, hogy átesnének a sok-sok évnyi egyetemi tanulmányukon. Hogy a nálunk szerzett élményeiket irányításként használhassák tudásuk, ismereteik gyarapításához. Hogy a saját bőrükön érzékeljék mi mindent és miért érdemes majd alaposabban is megtanulniuk. Hogy esetleg idővel maguk is tudományos kutatói pályára lépjenek. Mert aki már tudja hová akar eljutni, annak szinte bármelyik szél jó lesz, hogy céljához közeledni tudjon.

A tavalyi iskoláról utólag elismerő visszajelzéseket kaptunk mindenkitől (diákoktól, szülőktől, tanároktól és kutatóktól), aki csak kapcsolatba került velem. De hogy hogyan jutottunk el a megszervezéséig, az legalábbis nálam elég régre nyúlik vissza. (Akit ez nem érdekel, nyugodtan ugorjon az utolsó oldalra.) Évtizedeket kell visszamennünk, amikor még más szerepben voltam. Ugyanis életkorunk előrehaladtával egy nagy permutáló hatás folyton újabb és újabb pozíciókba helyez minket, olyanokba, amelyeket kívülről, másik oldalról korábban már láttunk. Például először kisbabák vagyunk, s csak fokozatosan ismerjük meg édesanyánkat, szüleinket, nagyszüleinket, nem sokat gondolva arra, hogy egyszer még a helyükbe kerülhetünk. (Hiába is „fenyegetőznek” velem.) Később először

Daróczi Csaba Sándor
MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézet

diákok, majd évek múlva esetleg tanárok leszünk. Nincs ez másként a katonaságban (közlegénytől a tábornokig), vagy a különféle hivatalok és cégek ranglétráinál sem. Velem érettségi környékén fordult elő, hogy ráeszméltem a jelenségre, íme a története:

Az érettségire az elsőik között érkeztem, de a véletlen a legutolsó helyre juttatott, így szinte egy egész nap maradt arra, hogy elülsem valahol. A bicskei gimnázium előtti szép parkban találtam magam, ahol sétálgatva, hol meg egy padon ülve leginkább a madarakat füleltem. Egyszer csak feltűnt egy talán 2–3 éves apróságokból álló csoport, vagy húsz nagyon takarosan felöltöztetett fiúcska és lányka. Hirtelen körülállták a padom, és kitartóan fürkészni kezdtek. Próbáltam velük beszélgetni, de még nagyon fukarul mérték a szót, főleg egy idegennel szemben, ugye. Ekkor tűnt

Ismerkedés a nagyfelbontású transzmissziós elektronmikroszkóppal.



fel nekem, hogy a kislányok derekához kis zsebkezdők voltak betűrve (a fiúknak meg a zsebükből volt), így ezzel kezdhettek valamit – gondoltam. Elővettem a sajátomat és leterítettem a padra, majd hajtogatni kezdtem, hogy abból egyszerű, de érdekes alakzatok jöjjenek ki. Bízattam őket is. Egy szempillantás alatt elfogyott minden szabad hely, az apróságok szorgalmasan hajtogatottak, csendben és nagy műgonddal ☺! Nem okozott nekik nehézséget észrevenni a szimmetriákat (döntő fontosságú a fizikában a megmaradási tételeknél és a valószínűségi viszonyok megállapításánál), vagy az egyes lépések helyes sorrendjét (ami meg az általános logikától kezdve a kvantumfizika felcserélési szabályaiig köszön vissza minduntalan). Nagyon aranyos, de a történetnek még nincs vége!

Bő egy év múlva ismét arra akadt dolgom, és immár fizikus szakos egyetemistaként újra csak a madarak dalolását terveztem figyelni. Ezúttal is feltűnt egy bölcsődés csoport – nyilván rendszeresen kijárnak, nagyon helyes. Hirtelen kivált a csoportból egy pöttöm kislány, odaszaladt hozzám, és szó nélkül elővette a zsebkendőjét, hogy a padon hajtogatni kezdje ☺ – bemutatva tudományát, amelyre még mindig emlékezett! Szeretném, de tényleg nem tudom méltóképp szavakba önteni, hogy akkor mit éreztem! De abban a percben arra a meggyőződésre jutottam, hogy nincs az a fiatal életkor, amikor az ember gondolkodását ne lehetne terelni perspektivikus problémák felé. Akár a legfiatalabbaknak is lehet tanítani a fizika (és általában a természettudomány) szempontjából fontos dolgokat, csak ki kell(ene) ötleni hozzá a megfelelő formákat.

A fizika a természettudományos törvényszerűségek közül a legáltalánosabb érvényűeket igyekszik feltárni. Szerintem tényleg azért, mert akadnak emberek, akiknek egyszerűen ilyen a mentalitásuk. Vagy ahogy egyik egyetemi professzorom (*Dede Miklós*) szokta volt mondogatni: „A fizika az, amit a fizikusok csinálnak!” A fizika lényegi tulajdonsága, hogy folyton próbára teszi elméleteinek érvényességi határait. Ennek eredményeként néha bekerülnek dolgok a fizikába (pl. atom- és molekulafizika, korábban csak a kémia vadászterülete), máskor meg egyes részeit specializálódnak (pl. statika, elektronika, híradástechnika). Törvényeinek általános természete nemcsak úgy értendő, hogy adott tartományban hézagmentesen mindenre érvényes, hanem úgy is, hogy más dimenziókban is valami hasonló igaz, *mutatis mutandis*. Például a mechanika törvényei alapján lehet *modellezni* az elektrodinamika Maxwell-egyenleteit is. (*Maxwell* is megtette, csak egy idő után elhagyta az erre való hivatkozást, mert kortársai minduntalan félreértették. *Bolyai János* hasonló módszerrel mutatta ki a hiperbolikus geometria ellentmondásmentességét, feltéve, hogy az euklideszi is az.) Idővel az elektrodinamika törvényei szolgálták mintául további fizikai elméletek kidolgozásához (pl. Schrödinger-féle hullámmechanika, vagy a gyenge kölcsönhatás elmélete stb.). Mert a fizikus a kedvenc fizikai elméletével éppen úgy van, mint a kisgyerek, aki ha talált egy kalapácsot, akkor belátható időn belül hajlamos mindent szegnek nézni: újra és újra kipróbálja, hogy ott is működik-e. Nem rombolni, ha-

nem csak megbizonyosodni akar a működéséről. (Saját bevallása szerint egyszer a gyermek *József Attila* is hasonló okból törte el a petróleumlámpa felhevült üvegét egy kis reá fröcskölt vízzel.) Néha előfordul, hogy egészen nagy kalapáccsal kell nekiesni a diónak. Mint a CERN-ben mostanság működésbe lépő 27 km-es LHC (Large Hadron Collider) gyorsító, amely a protonokat akár 7 TeV energiára (azaz nyugalmi tömegük energiájának kb. 7000-szeresére) gyorsítva ütközteti majd. De mint írtam, nem a rombolás itt a lényeg, hanem a működtetés és *valamely zárt dolog kinyitása, belső összefüggéseinek kimutatása*. Ám e kinyitásra csábító „kasszaszerű” dolgok többnyire ellenszegülnek a nyers erőnek, és inkább lehet boldogulni velük valamilyen furfangos kulccsal, amely a zárat kinyitni képes. Valójában a fizikus egyebet sem tesz, mint ilyen furfangos *kulcsokat keres és alkot*. Ehhez magától értetődően használja fel a korábban már megismert záratokat és kulcsokat, de időről időre előfordul, hogy merőben új ötletekre is rászorul. Akár az egyik *Stan és Pan* klasszikusban, amikor Stan szeretné kinyitni Pan páncélszekrényét, és kérdi tőle a zárkombinációt. A válasz: 2 fordulat balra! De Stan hiába tekergeti a gombot, mire Pan bemutatja, hogy hogyan is kell érteni a dolgot: a függőleges tengelye körül kétszer 90 fokkal elfordítja a macskót – tudniillik nincs hátulja! Nos, a fizikában elég gyakran használatos kulcs (avagy trükk) okosan megválasztani a nézőpontunkat, a megfelelő irányból közelítve a problémához. (Például nem mindegy, hogy tanulás melletti dohányzásra, vagy dohányzás melletti tanulásra próbálunk meg engedélyt szerezni... Bár a legjobb nem dohányozni.) Néha látszatra különböző dolgok lehetnek egyenértékűek (szimmetria), máskor meg egyenértékűnek tűnők valamiért mégis különbözőek (szimmetriasértés).

Az ember onnan vegye a kulcsokat, ahol csak találja! Volt például a falunkban egy kanász, aki szívesen beszélgetett bárkivel (ideje volt rá bőven). Mi, gyerekek, gyakran derültünk rajta, mert volt az öregnek egy elmélete, amit gyakorta elő is vezetett, a legkülönfélébb dolgokkal kapcsolatban: „Ez is olyan, mint a porszívó! Elöl bemegey a dolog, aztán hátul kigyőn egy másik!” Ilyen alapon nemcsak a kerti locsoló, vagy éppen a disznó működését tudta hatékonyan megmagyarázni, de még a lökhajtásos repülőét is ☺! De igazán csak akkor derültem nagyot, amikor az egyetemen a matematikai operátorokkal kapcsolatban került elő teljesen ugyanez a logika... Gyanítom, hogy a legtöbb embernek akadnak ehhez hasonló eredeti meglátásai (azaz kulcsai) az élet különféle problémáihoz. Többen közülük kutatóvá, természettudóssá is válhatnak, csak éppen valamely okból nem gyűjtik össze a kulcsoknak egy elegendően nagy és teljes rendszerét. Így az ő ötleteik igazi hasznosulása csak akkor lehetséges, ha találkoznak valaki más-sal, aki besegít. Ami amúgy a nagyok között is ismert jelenség, például *Michael Faraday* meg volt győződve arról, hogy ha ugyanaz az elektromos áram képes folyni a szakadást jelentő rész (tulajdonképpen kondenzátor) mindkét oldalán, akkor egyszerűen muszáj,

hogya a szakadás helyén is folyjék valamilyen áram, még ha ott látszólag nincs is semmi. Matematikailag ezt nem volt képes kezelni, de a gondolatán James Clerk Maxwell-lel sokat diszkutáltak, aki végül teljesen elfogadta Faraday elméletét és az úgynevezett *dielektromos eltolási áram* képében be is építette a 4. egyenletébe, amiből meg így bizonyos titokzatos elektromágneses hullámok létezésének a lehetősége fakadt. (Az eltolási áram miatt sokan bírálták Maxwellt, ámde később *Heinrich Hertz* kísérletileg is kimutatta az elektromágneses hullámokat, s ezzel elindult a rádiótechnika fejlődése.) Azóta is az van, hogy a kulcsként használható legimpozánsabb tudományos berendezéseket rendre a fizikában alkotják meg, a kolosszális rádióantennáktól az űrrakétáig. De a rejtvényfejtő jelleg a fizikán túl is jellemző a tudományra. A fizika által kitermelt kulcsokat (eszközöket és elméleteket) széles körben használják a régészettől a csillagászatig. Vegyük példaként az orvostudomány esetét! Itt a rejtvényeket leginkább az emberi szervezet adja, s a megfejtést az teszi különösen nehézé, hogy a páciensnek lehetőleg életben kell maradnia ☹, továbbá, hogy az ember minden általunk ismert dolog közül a legbonyolultabb. Ezzel együtt a fizikai ismereteinkre épített modern vizsgálati eszközök hihetetlen mértékben átalakították az orvostudomány képét az utóbbi évszázadban. (Például röntgen berendezések, különféle ultrahang-diagnosztikák, EKG, EEG, izotópos, mágneses rezonanciás és még antirészecskéket is felhasználó vizsgálatok, lásd CT, MRI, PET stb.)

Manapság a kutatók leginkább csapatokban dolgoznak. Így kisebb a valószínűsége, hogy egy-egy jó gondolat hasznosítatlanul elenyésszen. Egymás ötleteit, elméleteit szinte azonnal kölcsönvesszük és nyomban tovább is fejlesztjük – ha arra érdemesnek látszik. Nagy a becsülete az új és használható kulcsok kiötlőinek. Szinte vadászunk rájuk, és szeretnénk, ha kipakolnának! (Akár csak az egyik gengszter az 1991-es *Oscar* című paródiában „Boss” Provolone előtt...) Egy középiskolás fiatal zsebe is bőven tele lehet a tudomány számára hasznos kulcsokkal. Legtöbbjéről még a gazdája sem sejti, hogy mi mindent lehet majd velük kinyitni. Hogy mi a csuda féle problémákat lehet megoldani azzal a gondolkodásmóddal, azokkal az ötletekkel és ismeretekkel, ami neki van. Ezt már csak azért is nehéz előre elméletileg kispekulálni, mert a tudomány is folyton változik, fordul a kocka, hogy aktuálisan mire van szükség. Ezért szerintem csak azt tehetjük, hogy „élesben” teszünk próbát. Valódi, fontos és érdekes tudományos témákba kell bekapcsolni a fiatalokat, vagyis nem elég csak steril, „agyonegyszerűsített” példákon edzeni őket. (Amiként a Nobel-díjas írói vénát sem lehet felszínre hozni a mégoly rendszeres és alapos tollbamondással sem.) A másként való gondolkodás képessége a tudományban igazi érték. Természetesen nem az a cél, hogy valaki beleragadjon valamilyen monomániás örült (ámbár eredeti) gondolkodásba, de még ez sem feltétlenül kizáró ok (a civilek szemében bizonyára nem teljesen alaptalanul vált a „tudós” és az „örült tudós”,



Számítógépes optikai rendszer alakfelismerés közben.

vagy minimum „bogaras tudós” fogalma csaknem azonos jelentésűvé). A tudomány művelésének hatékonysága az időnkénti (és szerencsés) eredetiségen túl nagyrészt azon múlik, hogy mennyire tudunk elszakítani eltérő gondolkodásmódokat, észjárásokat, amelyeket szükség szerint szorgalmasan követve juthatunk el jobb és a valósággal összemérhető magyarázatokig. A kutató sokszor kerül abba a helyzetbe, hogy nem a saját személyes érzéseit vagy elvárását célszerű követnie, hanem egy másik gondolkodást, vagy elméletet. Akár ha ő maga alkotta is a másik elméletet, és az ízlését tekintve tán „nem is ért vele egyet”, mégis becsületesen ellenőrzi, mert látja, hogy így is lehet gondolkodni, és bizony nem kizárt, hogy a végén arrafelé legyen az igazság! (Picit hasonlóan ahhoz, amikor saját magunkkal sakkozunk. Nálam valahogy mindig úgy alakult, hogy ha titkon szurkoltam az egyik színnek, a végén a másik győzött ☹.) Ez egy tudathasadásos lelkiállapot, nem is mindenki számára elviselhető. De a természettudós az igazságot nem egyszerűsíti le a szimpátiája alapján, az igazság szent tehén, amelynek baja nem eshet. Előfordul, hogy egymással kibékíthetetlen ellentétben lévőnek tetsző gondolatmeneteket kell követnünk, egymást kiegészítő jelleggel. A leghíresebb példa talán a *kvantummechanika* megalkotásakor megfogalmazott *komplementaritási elv* (*Niels Bohrtól*). Eszerint bár nagyon nehéz elképzelni, hogy például a fény miként is képes egyik kísérletben részecskeként, egy másikban meg hullámként megmutatkozni, mindkét viselkedési forma valóságosan és egymást kiegészítő jelleggel igaz. Hasonló kettősség már korábban is jellemző volt a fizikára, csak nem ennyire tisztán kimondva. Hiszen a fizika művelésekor egyrészt gondolatmeneteket követünk (esetenként már-már kínos matematikai szigorral), máskor pedig sehonnan sem származtatható, másra vissza nem vezethető ötletekből indulunk ki. A szigor és a szabad ötletelés, a törvényszerű és a véletlen kombinálásáról van itt szó tulajdonképpen. Hogy mindez (és csak ez) vezethet a fizika és általában a természettudomány fejlődéséhez, azt *Charles Darwin* óta egyre világosabban érzékeljük. Ugyanis az *evolúcióelmélet* a fajok eredetén túl a legáltalánosabban képes megragadni, hogy a törvény-



Számítógépes evolúciós modell által generált különös struktúrák.

szerű és a véletlen folyamatok sajátos egysége miképpen képes egyre bonyolultabb rendszereket eredményezni. Mindezekért a tudományban megtalálhatja a helyét, aki pontosan tudja követni az esetenként bonyolult szabályokat, de az is, akinek „csak” remek ötletei vannak. Persze a legjobb, ha valaki mindkétben ügyes, vagy legalább szót tud érteni a más módon eredményes kollégáival ☺.

Most pedig lássuk a medvét! Az MTA MFA laboratóriumaiban a hozzánk érkező fiatalok egy fantasztikus játszóteret találnak! Olyat, ahol a játékok mind valóságosak, működnek, és amelyekkel mi is szenvedélyesen játszunk – munka címén ☺. Egy 1 hetes (és a jelentkezők számára ingyenes!) tudományos tábor keretében megmutatjuk, hogyan is kell hajtogatni az itteni „zsebkendőket”, hogy előálljanak a meghökkentő formációk. A saját ötleteket is kipróbálhatják. Úgy készítettük elő a választható tudományos témákat, hogy ne képezzenek az ifjú kutatók számára leküzdhetetlen nehézséget, továbbá hogy folyamatosan kapjanak szakmai (mentori) segítséget is. A témákra már előre fel lehet készülni a honlapunkon megadott anyagok révén. Az idén választható tudományos témák címei a következők:

*Hőszugárzás vizsgálata integrált termoelemmel,
Mikroelektronikai szelektívitések kialakítása és vizsgálata,
Fotolitográfia,
Mikrofluidika,
Fotolumineszcens struktúra kialakítása pórusos szilíciummal,
Vékonyréteg leválasztása fizikai módszerekkel,
STM Nanolitográfia,
Szerkezeti színek a természetben,
Komplex rendszerek – evolúciós modellek,
Napelemes mérések napszimulátoron,
Napelemes minták elektronmikroszkópos vizsgálata TEM-mel,
Ezüst vékonyréteg előállítása és HREM-es vizsgálata,
Nagyfelbontású elektronmikroszkópia és a JEMS szimulációs program,
Nanorendszerek előállítása,
Rendezett ZnO nanorudak előállítása és minősítése,
A nanoszál alapú bioszenzor megvalósítása felé,
A mágnesség vonzásában,
Hidroxiapatit és polimer alapú biokompatibilis nanokompozitok,
Mágneses anyagvizsgálat és képalkotás,
Ellipszométeres mérések,
Optikai rács kialakítása holográfiával,
Súrlódási jelenségek vizsgálata (tribológia).*

Csupán a címeket átfutva is remélhetőleg azonnal érezhető, hogy a nálunk művelhető témák szinte mindig több tudomány hatókörébe esnek. Ezért természetes a különféle szakmák képviselőinek együttműködése, és az ehhez szükséges jó munkahelyi légkör. Ebbe a különös világba csöppenhet bele a diák, aki a tavalyi év tapasztalatai nyomán garantáltan jól érzi majd magát ☺. Mi magunk nehezen tudnánk elképzelni olyan nyári programot, amelyben jobban egyesül a kellemes és a hasznos, ezért csak azt javasolhatjuk minden diáknak, tanárnak és szülőnek, ha netalán lemaradt az idej alkalomról, idejében gondoljon ránk jövőre! Minden kérdésre választ találhat honlapunkon.

VÉLEMÉNYEK

Tisztelt Szerkesztőség!

A *Fizikai Szemlé*nek visszatérő témája a fizikatanítás eredményessége, amint ezt többek között a Szemle 2009/3. számában *Radnóti Katalin* és *Pipek János* cikke is feszegeti, de erre utal *Pál Lénárd* ugyanebben a számban. Engedjék meg, hogy ezzel kapcsolatban egy tapasztalatomról számoljak be.

Nemrég az egyik végzett osztályunk 10 éves találkozója gyűltünk össze. Kezembe akadt a régi osztályban írt fizikadolgozatok anyaga. Gondoltam kiosztom nekik, bár többségük nem műszaki pályán talála

meg a jövőjét. Legnagyobb megdöbbenésemre látva, hogy tíz évvel ezelőtt milyen kérdéseket kaptak, egyöntetűen azt kérdezték, hogy hogyan tudtak ezekre a kérdésekre felelni? Az elmúlt tíz év alatt, amit egészen más irányú tanulással és munkával töltöttek, teljesen elfelejtették a fizikát, amit annak idején keservesen megtanultak.

Elgondolkozva ezen, mindenekeelőtt az jutott eszembe, hogy a humán és reál beállítottságú gyerekeket – ellentétben a mostani gyakorlattal – időben el kell különíteni. Nem volt rossz annak idején a humán és a reál osztályban kapott érettségi.