

seinek megfelelően kezeljük, azonban szükség van rájuk, hogy a résztvevőket a nyári szünet alatt is el tudjuk érni, mert az indulás a nyári iskolai szünet idejére esik.

A teljes részvételi költség 140 eFt, ez azonban jelentősen csökkenhet, ha – reményeink szerint – idén is találunk támogatókat. A tavalyi továbbképzésen a

résztvevőknek csak az étkezést és a Mont Blanc-ra való feljutást kellett saját erőből fedezniük. Az utazási és szállásköltségeket szponzorok (SIF Alapítvány, Magyar CERN Bizottság) átvállalták.

Sükösd Csaba
a tanulmányút szervezője

Marx György emlékelőadás, 2007

Az ELTE Fizikai Intézete és az ELFT ötödször tartott tudományos előadást a Társulat 2002-ben elhunyt elnökének emlékére. Az előadásokat a *Marx György* születésnapjához, május 25-éhez legközelebb eső csütörtökön, az általa újraindított Ortvyay-kollokvium szemeszterzárójaként rendezik a szervezők. A neutrínófizika legújabb fejleményeit bemutató előadássorozatban idén május 24-én, *Serguey T. Petcov*, a trieszti SISSA elméleti részecskefizikai szekciójának vezetője a neutrínóoszcilláció jelenségéhez kapcsolódó legújabb kísérleti eredményeket és az elméleti előrehaladást ismertette. A jelenséget elsőként javasoló *Bruno Pontecorvo* egykori tanítványaként előadását élvezetes történeti áttekintéssel kezdte, amelyben kitért a neutrínófizika fejlődésében kiemelkedő szerepet ját-

szott balatonfüredi konferenciák méltatására. A földi reaktorok neutrínófluxusát használva nyert oszcillációs diagrammok bemutatásával érvelt amellett, hogy a részecskefizika Standard Modelljének kiegészítése elkerülhetetlen. A neutrínók tömegének jellegét (Dirac- vagy Majorana-típus) tisztázó neutrínómentes kettős béta-bomlási kísérletek helyzetének bemutatásával zárta előadását, amelynek végén átvette a 2007. évi Marx György emlékelőadónak járó bronzplakettet.

Az előadást megelőzően, Marx György születésének 80. évfordulója alkalmából avatta fel *Kiss Ádám* tanszékvezető az ELTE TTK Fizika Könyvtárában a Marx György életét, tudományos és oktatói munkásságát bemutató tablót, amelyet egykori tanszéke, az Atomfizikai Tanszék készített.

Film az űrkutatásról

Az üstökösök nyomában címmel ismeretterjesztő filmet készített a Real Stúdió, a Magyar Mozgóképi Alapítvány támogatásával. A filmet, az időközben elhunyt, *Erdőss Pál* rendezte. A forgatókönyv és a szerkesztés *Jéki László* és *Szalai Sándor* munkája.

Az 50 perces film áttekintést ad az üstökös kutatás történetéről, az elmúlt húsz évben indított űrszondákról, a velük szerzett új ismeretekről. Kiemelt szerepet kapott a filmben az a két űrmisszió (VEGA, Rosetta), amelyek-

ben jelentős volt a magyar kutatók szerepe. A filmben megszólalnak a témában érintett fizikusok, mérnökök. Az Európai Űrtechnikai Központban (ESTEC, Noordwijk), az Európai Űrirányító Központban (ESOC, Darmstadt), és a Német Légi- és Űrkutatási Központban (DLR, Köln) is készültek felvételek, a központok vezető munkatársai mutatták be a nemzetközi űrmissziókat. A film alkotói tervezik a film DVD-n való sokszorosítását, hogy a film az érdeklődő iskolák számára elérhető legyen.

MINDENTUDÁS AZ ISKOLÁBAN

HÁLÓZATOK MINDENÜTT

*Karinty Frigyes*t legtöbbször humoros és más szépirodalmi írásai révén ismerik. Talán kevesen tudják róla, hogy már középiskolás korában élénken érdeklődött a matematika és a természettudományok iránt. Ez az érdeklődése megmaradt később is, és 1929-ben a *Minden másképpen van* gyűjteményben egy kimondottan matematikai kérdésről írt *Láncszemek* címmel. Vajon hány közvetlen ismeretségi kapcsolaton keresztül lehet összekötni valamelyikünket egy

távoli helyen élő másik emberrel? Másképpen megfogalmazva: az emberek ismeretségi hálójában maximum hány lépésen keresztül lehet két, véletlenszerűen kiválasztott embert összekapcsolni? A példa kedvéért próbálja meg az Olvasó saját maga és egy esz-kimó között megtalálni a legrövidebb utat közvetlen ismerősökön (és barátokon, családtagokon) keresztül. Könnyen lehet, hogy az Olvasónak van egy sokat utazó ismerőse, akinek az egyik munkatársa járt

messze északon és találkozott az adott eszkimóval. Így az Olvasótól az utazó ismerősén és annak munkatársán keresztül három lépés vezet a kiválasztott eszkimóhoz. Karinthy becslése szerint az összes (akkoriban másfél milliárd) ember közül bármelyik kettő összeköthető legfeljebb 5 lépésben. Frissebb becslések szerint napjainkban ez a szám valahol 6 és 9 között van, azaz az ismeretségi hálóban két résztvevő között a távolság (a legrövidebb úthossz) jóval kisebb, mint az összes résztvevő száma. Általánosságban az ilyen tulajdonságú hálózatokat – az ismeretségi háló alapján – *kis világnak* hívjuk.

Karinyth példája csupán egy a sok hálózat (gráf) közül, amely körülvesz minket. Mindannyian ismerjük a világméretű számítógép-hálózatot, az internetet, és a számítógépeken tárolt weboldalak hálóját, a www-t. Legtöbbször naponta telefonálunk, és ha a telefonhívásokat ábrázoljuk, akár csak egyetlen telefontársaság előfizetői között, akkor is több millió pontból álló gráfot kapunk. Ennek a gráfnak a (csúc)pontjai az előfizetőket jelölik, a csúcsokat összekötő vonalak (élek) pedig azt, hogy két előfizető között volt-e hívás. Hoszszabb időszak alatt természetesen többször is telefonálhat egymásnak két ember, ilyenkor az adott kapcsolatot ábrázoló élnek nagyobb súlyt adhatunk. A felsorolt példák közül a www és a telefonhívások grájában is rendelkezünk irányt az élekekhez, ezekkel a nyilakkal a hiperlinkek, illetve a hívások irányát tudjuk jelölni.

Az emberi kapcsolatok és az elektronikus rendszerek mellett a biológiában is számos hálózat ismert. A legtöbb biológiai hálózat azt összegzi, hogy egy rögzített sejttypusban a különböző molekulák (például fehérjék és anyagcseretermékek) a reakcióik során milyen más molekulákkal lépnek kapcsolatba. Egy ilyen „kölcsonhatási térkép” tartalmazza például azt, hogy a vizsgált sejttypusban a víz- és a glükózmolekula között van-e kölcsönhatás. Ha igen, akkor a két molekulát ábrázoló egy-egy pont össze van kötve. Az emberi nyelvek és maga az emberi gondolkodás is sok hálót produkál. Könyvespolcokon gyakran megtalálható a magyar és az angol nyelvű szinonimaszótár; az ebben lévő kapcsolatok definiálják a szinonimahálózatot. Szintén hasznos eszköz a könyvtárak által a könyvek osztályozásához, besorolásához használt egységes tizedes osztályozás (ETO). Az ETO-ban minden téma nevet egy számsor jelöl, amelynek az elemeit tizedes-

1. *ábra.* Az úthálózatot városok alkotják és egy városnak általában 3–4 szomszédja van, de 10 vagy több szomszédal rendelkező várost nem találunk. Az internet egymással összekötött számítógépekből áll, és gyakoriak a kiugróan sok szomszédal rendelkező pontok, az ábrán világosabb színnel. (Az ábrák forrása a Google Maps, illetve a <http://www.caida.org> weboldal.)



pontok választják el. Ha ezt lerajzoljuk, akkor egy nagy elágazó fát kapunk (szintén hálózat), amelynek a legelső csúcspontjain általános címszavak találhatók, például 1. szépirodalom, 2. történetírás, majd ezek felett a fa kisebb ágain egyre speciálisabbak a témanevék: 1.1. regény, 1.2. vers stb. A közlekedésből is ismerünk hálókat, például a közúti hálózatban mindegyik város egy pont és két pontot összekapcsolunk, ha a két város egy főút mentén szomszédos. A légi közlekedésben szintén a városok a pontok (bár egy városnak több repülőtere is lehet), és két várost összekötünk, ha van köztük közvetlen repülőjárat.

A matematikusok a gráfokat több száz éve vizsgálják, és a gráfelmélet a matematika egyik igen jelentős ága. Azonban az utóbbi egy évtizedben a hálózatokról rendelkezésre álló adatok mennyisége és részletgazdagsága ugrásszerűen megnőtt. Ezt a jelentős változást felerősítette az internet fejlődése, amely korábban nem látott mennyiségű mérési adatot tett ingyenesen elérhetővé bárki számára. Emiatt a matematikusokon kívül a fizikusok, biológusok, szociológusok és más kutatók is egyre intenzívebben kapcsolódnak be a hálózatok kutatásába. Ezen belül a fizikusok a nagy és összetett (komplex) rendszerek megfigyelése során mindig az egyszerű, közös tulajdonságokat keresik. Sokszor nem a pontos egyezést vizsgálják, hanem csak a gyakran előforduló (statisztikai értelemben vett) hasonlóságot. Ezért a 90-es évek végétől kezdődően a fizikusok, más kutatókkal együtt, meglepve és örömmel tapasztalták, hogy a sokféle komplex hálózatban több egyszerű, hasonló tulajdonság található. Az egyik legkorábbi ilyen eredmény, hogy a nagy hálózatok közül sok rendelkezik az ismeretségi hálózatban már látott *kisvilág*-tulajdonsággal. Szintén kis világ az internet és a www, viszont nem kis világ egy pókháló és a közúti hálózat. A legkisebb számú lépést, amellyel egy gráfban két csúc az éleken haladva összeköthető, a két pont közötti legrövidebb úthossznak nevezzük. A kisvilág-tulajdonság matematikai megfogalmazásban azt mondja ki, hogy ha növeljük egy hálózat méretét, akkor a benne mérhető legrövidebb úthosszak a hálózat méreténél jóval lassabban (legfeljebb logaritmikusan) nőnek. Azaz, ha egy kisvilághálózatban a csúcsok (résztvevők) száma tíz- vagy százszorosára nő, a legrövidebb út bármely két pont között akkor is csak egy vagy két lépéssel lesz hosszabb.

A legrövidebb utak vizsgálata után most nézzük meg azt, hogy vajon egy kiválasztott csúcspontból nézve másmilyennek látjuk-e a www-t és az úthálózatot (1. *ábra*). A www-n és az úthálózatban is sok olyan pont (weboldal, város) található, amelynek kevés kapcsolata van (hiperlinkkel kapcsolt másik weboldal, illetve szomszédos város). Azonban, ha a sok kapcsolattal rendelkező pontokat vizsgáljuk, akkor a két hálózatban jelentős eltérést tapasztalunk. Egy városnak általában 3–4 közúti szomszédja van, de 10-nél semmiképp sem több. Viszont a weboldalak között soknak van ezernél is több kapcsolata és néhányának, mint a Google és a Yahoo, több millió. Egy csúc szomszédainak számát az adott csúc *fokszá-*

mának nevezzük. A különböző fokszámok *eloszlásfüggvénye*, $p(k)$, megmutatja, hogy ha az összes csúcs közül véletlenszerűen kiválasztunk egyet, akkor annak a fokszáma $p(k)$ valószínűséggel lesz k . Az úthálózatban nagyon kis eséllyel találunk olyan csúcst, amelynek a fokszáma az átlagos értéknél jóval nagyobb; az útvonalak gráján és a hasonló hálózatokban végzett mérések szerint ez a valószínűség a k értékkel exponenciálisan csökken:

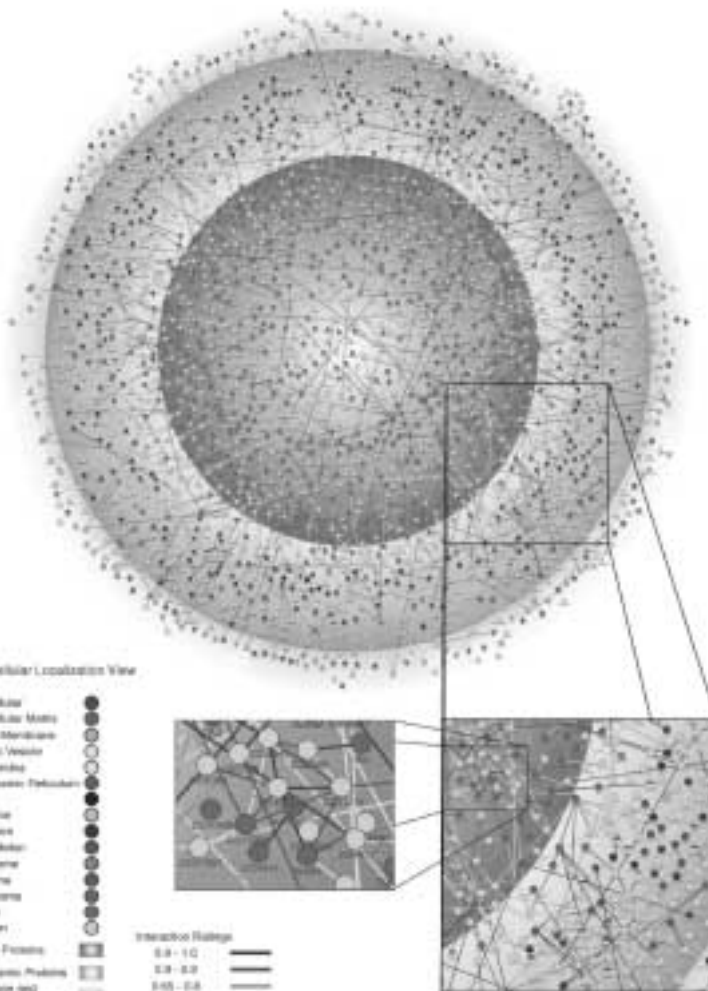
$$p_{\text{utak}}(k) \sim e^{-k}.$$

A *www*-n és a biológiai hálózatokban gyakoriak az átlagosnál jóval több kapcsolattal rendelkező csúcsok. A mérések szerint ezekben a hálózatokban a fokszámeloszlás a nagy fokszámoknál hatványfüggvény szerint csökken:

$$p_{\text{www}}(k) \sim k^{-\gamma}.$$

Itt γ általában 2 és 3 közötti szám. Ha például $\gamma = 3$, akkor a $k = 10$ fokszámú csúcs előfordulási valószínűsége 8-szor kisebb, mint a $k = 5$ fokszámú csúcsé. Ezzel szemben az exponenciális esetben a $k = 10$ -es csúcs e^5 -szer (körülbelül 150-szer) kevésbé gyakori, mint a $k = 5$ -ös. A nagy fokszámú csúcsok előfordulási valószínűsége alapján a hálózatokat két fő csoportba szokás sorolni. Az *exponenciális* hálózatokban az átlagosnál jóval több kapcsolattal rendelkező csúcsokat nem találunk (az exponenciális függvény nagyon gyorsan csökken), míg a *hatványfüggvény* szerinti fokszámeloszlású, más néven *skalafüggetlen* hálózatokban ehhez képest gyakoriak a kiugróan sok szomszédal rendelkező csúcsok.

A fokszámeloszlás és a *kisvilág*-tulajdonság sok alkalmazásban igen fontos szerephez jut. A *www*-n és a légi közlekedésben alapvető, hogy néhány lépéssel (kattintással, illetve átszállással) a hálózatban bárhová eljuthassunk. De ezért a jó tulajdonságért mindkét esetben árat kell fizetnünk. A *www*-n gyakran előfordul, hogy a legtöbb kapcsolattal rendelkező oldalakat egyszerre próbálja sok felhasználó letölteni, a légi közlekedés pedig lehetőséget ad arra, hogy távoli vidékek fertőző betegségei gyorsan eljussanak mindenhová. Érdekes, hogy az elmúlt években az ezekkel kapcsolatos jelenségekre a statisztikus fizika elméleti eszközeivel igen pontos leírásokat és javaslatokat sikerült adni.



2. ábra. A gyümölcslegy (*Drosophila melanogaster*) fehérjéinek kölcsönhatási hálózatára vonatkozó első részletes „térkép” 2004-ben készült el. Az emberi sejtek fehérjéi közötti kölcsönhatások térképe ilyen részletességgel még nem ismert. Azonban a gyümölcslegy fehérjéi között talált kölcsönhatások segítségével, szekvencia-hasonlóság alapján az emberi fehérjék kölcsönhatásai is pontosabban jósolhatóak. (Az ábra forrása: Giot et al., *Science*, 302 [2004] 1727–1736.)

Napjainkban az egyik legaktívabban kutatott hálózat az élő sejtek fehérjéinek kölcsönhatási hálózata. Sok ismert szekvenciájú és szerkezetű fehérjéről még nem vagy csak részben ismert, hogy milyen feladatot végez a sejtben. A hálózatban vele kölcsönható más fehérjék (szomszédok) segítségével azonban ez a funkció jósolható. További érdekesség, hogy a fehérjék általában csoportosan, összekapcsolódva végeznek el egy-egy feladatot. A fehérje–fehérje kölcsönhatási hálózat segítségével új fehérjecsoportokat találhatunk, és jobban megismerhetjük, hogy ezek a csoportok (fehérjemodulok) hogyan működtetik az emberi, állati és növényi sejteket (2. ábra).

Farkas Illés

MTA–ELTE Biológiai Fizika Kutatócsoport

Fizikai Szemle
MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

megjelenését anyagilag támogatják:

