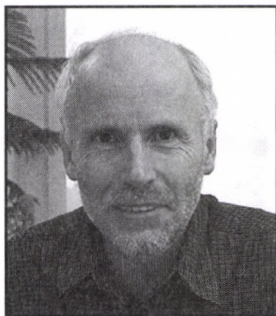


## Vicsek Tamás

### Fraktáloktól a viselkedésmodellezésig



Vicsek Tamás a moszkvai Lomonoszov Egyetemen végzett 1972-ben, PhD-dolgozatát a KLTE-n írta (1976), 1983 óta az MTA fizikatudományi kandidátusa, 1995-től az Akadémia levelező, majd rendes tagja. Jelenleg az ELTE egyetemi tanára, a TTK Biológiai Fizika Tanszékét vezeti. Munkásságát szerteágazó kutatások jelzik: fraktálok, molekuláris motorok, granuláris áramlások, kollektív viselkedésmodellek (csoportos mozgás, vastaps, pánik) szimulálása. Őt könyv szerzője, társ-szerzője, szerkesztője. Száznegyven, nemzetközi folyóiratokban megjelent tanulmányt jegyez, munkásságát számos magyar és külföldi díjjal honorálták.

#### *Milyen kutatások folynak a Biológiai Fizika Tanszéken?*

A tanszék a hagyományos biofizikai tanszékekhez képest abban speciális, hogy a biológia és a fizika határterületén legújabb felmerült kutatási irányokra, azok között is leginkább a statisztikus fizika biológiai alkalmazásaira koncentrál. A statisztikus fizika a fizikának az az ága, amelyik sok hasonló részecske kollektív viselkedésével – például olyan fázisátalakulásokkal, mint a víz kikristályosodása – foglalkozik. Bizonyos értelemben sok köze van az ágensalapú rendszerek viselkedéséhez és a biológiai fizika témakörén kívül eső mesterséges élethez is.

Sejt-biofizikai, biooptikai, evolúcióelméleti és további kutatásokat végzünk, sőt, nem biológiai fizikai, így például nanocsövekre vonatkozó vizsgálatokat szintén folytatunk. A spektrum széles, viszont a tanszék kicsi...

#### *Hogyan jutott el a fraktáloktól a viselkedésmodell-szimulációkig?*

Egyenes, de hosszú úton. A pánik során menekülő emberek, mint téma újszerű, nagyon másnak tűnik, de mégis kapcsolódik. Onnan indult az egész, hogy régebben – lassan harminc éve – a Műszaki Fizikai Kutatóintézetben dolgoztam, ahol alkalmazott kutatások folytak. A wolframgyártás egyes részleteinek elméleti úton történő megértése volt a cél. A perkoláció, vagy szivárgás jelensége során azt vizsgálják, miként jön létre egy összefüggő csatornahálózat inhomogén, kicsit szivacsos jellegű közegben. Az összefüggő, véletlenszerűen átvezető részekből álló objektumról kiderült, hogy olyan, mint egy nagyon komplikált hálózat, és a geometriája hagyományos fogalmakkal nem, csak a törtdimenziós objektumokra vonatkozó új megközelítéssel, a fraktálok geometriájának elméletével írható le.

Innen léptem tovább a fraktál-kutatás irányába. Rájöttem, hogy a baktériumtelepek fraktálmintázatokat alakítanak ki. Miután egy Petri-csésze közepére baktériumokat tartalmazó cseppet pötyyintenek, a baktériumok szaporodni kez-



denek, a gél felületén mozognak is, illetve a táplálék felé növegetnek, szálakat bocsátanak ki. Nagyon komplikált, bokorszerű alakzat alakul ki. A kutatásaimban ekkor jelentek meg a legrövidebb élőlények. Egyszer csak látszott, hogy bizonyos baktériumoknál a növekedő telep egyes részein kis korong-alakú képződmények jelennek meg, és a baktériumok körbe-körbe úszkálnak a képződményeken belül. Tehát feltűntek az együttmozgó, akár ágenseknek is nevezhető élőlények. Javasoltam rájuk egy egyszerű modellt, ami csak a baktériumok körkörös mozgását akarta megmagyarázni. Azoknak az embereknek mozgatta meg a fantáziáját, akik egyszerű modellekkel szeretnek érdekes viselkedéseket kutatni. 1995-ben publikáltam, és a legutóbbi hónapokban derült ki, hogy még sokkal érdekesebb, mint amilyenek tűnt eredetileg. Ha úgy tetszik, a modell ágensalapú: kiadjuk az ágenseknek, hogy próbáljanak arra menni, amerre a környezetükben levő többi ágens. Az volt benne az új, hogy egy véletlen perturbáció, egy véletlen szám megmondja, mennyire térjen el a mozgásuk ehhez képest. Tehát összesen csak két szabály van.

Továbbmentünk, és úgy értelmeztük, hogy a modell madárcsapatokra, halra-jokra szintén jó lehet. Amikor felkeresett egy – korábban már embercsoportok viselkedésének szimulálásával foglalkozó – eredeti gondolkodású német kolléga, kézenfekvőnek tűnt a megközelítésünk alkalmazása, az embereknek az ő számításainál sokkal egyszerűbb modellekkel történő leírása. Míg a baktériumok mozgásában is létezik valamiféle célszerűség, az emberek esetében egyértelmű volt, hogy extra tulajdonságokat tegyünk az eredeti modellbe. Nagyon hamar előjöttek az olyan kérdések, mint például, hogy mi történik akkor, ha sokan akarunk kimenni egy ajtón, és akadályozzák egymást.

Az út minden stádiumára jól emlékszem, mindegyik logikusan következett az előzőből.

### *Milyen következtetéseket vont le a kollektív viselkedésmodellekből?*

Az alapkérdés a csoportos emberi viselkedés kvantitatív szintű megértése. Az ilyen viselkedés előrejelzése még izgalmasabb lenne, és abszolút igazolná a teljes kutatási irányt. Első szint a primitív, következő a komplex formák. Az egyszerűbb formák megértését teljesítettük, bizonyos jóslatokat teszünk rájuk. Közepes komplexitásúnak például az utcai demonstráció során tanúsított viselkedés számít, ahol már érzelmek keverednek. Egy adott divat elterjedése, egy párt népszerűvé válása még bonyolultabb. A kollektív viselkedés tulajdonképpen a szociálpszichológiához tartozik, viszont a hagyományos megközelítésre zéró formula és/vagy a részletes „folyamatábrák” hiánya jellemző. Egy eseménysor verbális, többnyire leíró elemzését adják: értelmezést és magyarázatot. Az ilyen elméletek azt jelentik, hogy valakik szerint így van... Túl szeretnénk jutni ezen. Ágensalapú szimulációban sokkal kézzelfoghatóbb a verifikálás. Viszont nem feltétlenül ebben a keretben, hanem inkább a természetudós attitűdjével gondolkozunk. Ugyanakkor előbb-utóbb összeérnek a



különböző szálak: a természettudományos, a társadalomtudományi és az informatikai megközelítés.

***Ha az MI-t nem egyedi alkalmazásként, hanem szociális intelligenciaként fogjuk fel, milyen kapcsolódási pontokat lát az Ön szimulációs projektjeivel?***

A mesterséges intelligencia rendkívül vonzó, csábos tevékenységi terület. Izgatóbb annál, mint amit ténylegesen nyújtott eddig... Rajntelligencia-ügyben referáltam James Kennedy *Swarm Intelligence* című könyvét. Sokkal jobb a véleményem róla, mint Wolfram sejtautomatákról írt kötetéről, ami nyilvánvalóan nem butaság, viszont negatív hatású. A jeles szaklapokban megjelent recenziók legpozitívabbika szerint is ellentmondásos. Szakmai slendriánságokat, prioritási kérdésekben való inkorrektiséget rónak fel neki, amikkel mélyen egyetértek. A komplexitás tudományának nevezi az egyszerű algoritmusokkal legyártott mintázatokat. Jó lenne, ha tényleg ez lenne a komplexitás tudománya, de sokkal többről van szó. Nem igazán tudjuk, mi az. Össze lehet gyűjteni, minek van köze hozzá, de kiforrotlan az egész. Az emergencia kevésbé, mert része, fontos tulajdonsága a komplexitás fogalmának. Utóbbiból csak annyit értünk, hogy ez is jellemző rá, az is jellemző rá, de koherens, megértett jelenségnek még nem lehet nevezni. Mi az a bonyolult rendszer? Általában sok egységből áll, szintek találhatóak benne, nem lehet könnyen megjósolni a viselkedését, és így tovább. Wolfram sejtautomatái sokat tudnak ebből, de – állításával szemben – nem mindent. Bizonyos dolgokban igaza is van, viszont a komplexitás lényegét tagadja meg. Elég lett volna, ha azt mondja csak, hogy lehet olyan számítógépes modelleket készíteni, amelyek komplex rendszerek. Majdnem viccesen primitívek a példái, és nagyon sok esetben nem tesz eleget a tudományos munka kritériumainak.

A rajntelligenciára visszatérve, az volt az érzésem, hogy ígéretes a Kennedy-könyv, viszont nem látom a cél elérését, hanem inkább a lehetőségek számbavételét. Nagyon intelligensen felvázolja, ecseteli a problémát, viszont az utána készített modell kicsi, primitív, ám megint rendkívül értelmesen interpretálja. Ez egy másik iskola. Mi inkább nagyon szűk, nagyon korlátozott témát vizsgálunk és készítünk rá egy viszonylag bonyolult modellt. Azt mondjuk, továbbra is csak arra jó, hogy a menekülő emberek esetében a kijárat elé tett oszlopról eldöntse, káros hatású lesz vagy sem, segít vagy nem. Itt tartunk. Kicsit szkeptikusan kezelem, ha valaki egy ennél primitívebb modell elkészítése után azt állítja, hogy megjósolja vele a következő választások kimenetelét. Ilyen szempontból a Kennedy-könyv a jobbik esetek közé tartozik.

De például Bonabeau megközelítése közelebb áll hozzám, mint Kennedyé – ő az igazán érdekes felfedezésekhez vezető úton jár. Még nem történtek meg, de már itt vannak nagyon közel. Látok fantáziát a leendő közgazdasági alkalmazásokban, mint az AITIA vBrokerében. A sakkal összehasonlítva: húsz éve még könnyen megvertem az akkori buta programokat, a mostaniak viszont rendkívül jól játszanak, hamar kikapok tőlük. Úgy tűnik, mélyen gondolkodnak. A jövő



brókerprogramjai az átlag emberinél jobb kötések tesznek majd a tőzsdén. Ugyanakkor egyelőre nem láttam mellbevágó, igazán megvilágosító cikkeket, és még mindig az ígéretesség dominál, ami nem az én világom. Azt szeretem, ha az ígéretemet megvalósítom.

***Molekuláris motorokra vonatkozó kutatásokat is végeznek. Nyilvánvalónak tűnnek a nanotechnológiai kötődések.***

A molekuláris motorok alatt biológiai, szabad szemmel nem látható, nanoméretű makromolekulákat értünk. A biológusok is motoroknak hívják őket. Motorról beszélünk, ha például egy kis szerkezet egy sejten belüli rudacska mentén egy sejtszervecskét, egy mitochondriumot képes végighúzni. Nem forog, hanem lépegető mechanizmussal működik. Ugyanakkor a mitochondriumok falában található egy forgómotor, a világ legkisebb forgómotorja: sokezer atomból álló, teljesen nanoméretű makromolekula. Van köze a nanotechnológiához, vagy inkább a mikrométerű technológiához, amikor a biológiai eredetű, forgásra képes struktúrákat szervesen, ember által készített anyagokkal próbálják házasítani. Szén-nanocsövet igyekeznek akasztani a forgó egységre, ami körbemeget, és kever valamit, azaz egy keverő. A DNS-chipek – ahol egy négyzetcentiméteren több tízezer gén azonosítására alkalmas kis egység található – esetében se ártana, ha a rátett lötytöt forgók kevernék folyamatosan. Az összetevőknek egyenletesen kell szétterülniük, mindenhova el kell jutniuk, ami diffúzióval megy végbe. Ha keveréssel lehetne gyorsítani, akkor nanoszerkezetről beszélénk.

Egy Széchenyi-pályázat keretében elnyert összegből nanotechnológiai eszközök kifejlesztését, többek között DNS-molekulák nagyság szerinti szeparálását vállaltuk. Van rá technológia, csak nem nano. A DNS-szeparátor megvalósítása mögött húzódó gondolat hasonló a molekuláris motorok működéséhez. Bizonyos – az autóban működő robbanómotorétól teljesen eltérő – elvek mikroszkopikus méretben eredményezhetnek mozgást. Felvetődik a kérdés, hogy az izom nano-technológiai elven, nanoszerkezetek által működik, vagy nem. A válasz: nano-szerkezetek működtetik. Az izomsejtekben sok millió – szintén molekuláris motornak nevezett – fehérje-pár van, amelyek egy rúd-szerű makromolekula mentén haladnak előre. Összehúzzák ezeket a „rudakat”, így rövidül az izomszövet.

Nehéz megjósolni, hogy konkrétan milyen szervesen, tehát nem biológiai eredetű, de nanoméretben működő eszközöket hozunk majd létre, viszont az biztos, hogy előbb vagy utóbb fogunk tudni ilyen szerkezeteket alkotni. A potenciális nanotechnológiai alkalmazások száma óriási; tényleg ez a jövő, és már részben a jelen is.

***Miben látja a kutatás-fejlesztési projektek sikerének, eredményességének titkát?***

Mint általában manapság a tudományos életben, a következő szempontok alapvetőek a sikerességben: eredeti ötletek, kitartó kemény munka, utánpótlás-

nevelés, illetve jó kapcsolat az ifjabb kollégákkal, az eredmények ügyes tálalása, és a forrásokra való pályázás színvonala.

*Ha visszamehetnénk az időben, és most lenne egyetemista, mivel foglalkozna legszívesebben? Milyen témakörben, kutatási területben látna komoly perspektívát?*

Biológus szeretnék lenni. Már annakidején is majdnem azt választottam, de végül is az akkor nagyon dinamikusan fejlődő fizika mellett döntöttem. A biológián belül az elméleti biológia egyik új ága, a „rendszerbiológia” (*Systems Biology*) vonzana.

*Milyen alapelveket érdemes képviselni ahhoz, hogy a csúcstechnológiai kutatásokban komoly eredményeket érjünk el?*

Ehhez nem értek. Úgy gondolom, vagy egy mar a legfejlettebb országokban meglévő sikeres dologhoz érdemes szervezeten csatlakozni, vagy valamilyen olyan témába jól belevágni, amelyik elég korlátozott érvényességű ahhoz, hogy nem kell a területen a legnagyobbak konkurenciájától tartani.

**Vicsek Tamás**

ELTE TTK Biológiai Fizika Tanszék

1518 Budapest, Pf. 32, 1117 Pázmány P. sétány 1/c.

<http://angel.elte.hu>