

V. A fizika alkalmazása más tudományterületeken

Az 1970-es és 80-as évekbeli, a kollektív jelenségek megértését hozó nagyszerű eredmények serkentették a 90-es évektől a statisztikus fizikának a hagyományos fizikától távol eső területekre való egyre szélesebb körben történő alkalmazását. Ennek egyik szép példája a természetben és a társadalomban meglévő kollektív viselkedés eredetének feltárása és a megfigyelt törvényszerűségek értelmezése. Az aktív anyagok vizsgálata jelenleg a nemzetközi kutatások homlokterében áll. A nagy adathalmazok elemzése arra az eredményre vezetett, hogy a különböző természetes és mesterséges eredetű összetevők kapcsolatrendszere gyakran komplex hálózati struktúrát mutat. A problémakörrel kapcsolatos vizsgálatokat a magyar kutatók interdiszciplináris keretekben folytatják. Hasonló mondható el az élőlények és embercsoportok közötti kölcsönhatással foglalkozó evolúciós játékelméletre is. Végül, a fizika módszerei egyre meghatározóbb szerepet játszanak a gazdasági és pénzügyi folyamatok kvantitatív elemzésében és az ezt kísérő kockázati analízisben.

V.1. Kollektív viselkedés a természetben és társadalomban

A kollektív mozgás jelensége akkor jön létre, ha egy rendszer egyedei egymással összehangoltan mozognak. Ilyenkor a határfeltételek, vagy a kölcsönhatás következtében az együttmozgás érdekes formái és a mozgásmintázatok közötti újszerű átmenetek figyelhetők meg. A jelenség alapmodelljét megalkotója után széles körben Vicsek-modellként idézik [I1]. A modell lényege, hogy az egységek azonos sebességgel haladnak, és kölcsönhatásuk során a szomszédok átlagos iránya felé fordulva haladnak tovább, ezért a statisztikus fizikában szokásos feltételekkel ellentétben a rendszer impulzusa (átlagos iránya) nem állandó. Ez azért lehet így, mert a rendszert alkotó egységek csatolva vannak a környezethez. Valószínűleg a koncepció egyszerűsége és a kollektív viselkedés gazdagsága motiválta, hogy két kutatási irány is alapmodelljeként hivatkozzon: egyfelől az ún. aktív anyagok, másfelől az együttmozgó élőlények viselkedésének leírására is használják különféle módosított változatait. Az ELTE-n dolgozó csoport számos, sokat hivatkozott, a kollektív mozgással kapcsolatos eredményt ért el. Az emberek csoportos mozgását modellező munkájuk kapcsolódó cikkek sorát kezdeményezte [I2]. A vonatkozó modell egyik kiemelkedő, de szokatlan alkalmazásaként sikerült a Mekkában (vallási ünnepük alkalmából) évente milliósámra összegyűlő ember sokszor halálos baleseteit (valamint az áldozatok számát) jelentősen csökkenteni. Fontos eredményt sikerült elérniük a madarak mozgásának akkor még újszerű technológiával és módon kiértékelt adatsorait elemezve. Galambcsapat tagjainak a hátára erősítettek mini-GPS berendezést, és a sebességkorrelációk időfüggéséből következtetést vontak le a csoport tagjai között működő komplex kölcsönhatási struktúrára [I3]. Az eredmények azt mutatták, hogy a csapaton belül összetett hierarchikus vezető-követő viselkedés valósul meg. A madárrajok viselkedésének vizsgálata és a technológiai vívmányok inspirálták, hogy létrehozzák a világ első, autonóm robotrepülőgépekből (drónokból) álló, csoportban repülő raját, amelyről a *Nature News* videót is tartalmazó cikkben számolt be.

V.2. Hálózat kutatás

Az utóbbi két évtized vizsgálatai megmutatták, hogy bizonyos közösségek egyedei a közöttük fennálló kapcsolódás alapján komplex hálózatokat alkotnak. Ilyen hálózatok léteznek a természetben, az emberi társadalomban és különböző mesterséges formákban is, mint az internet. A hálózatok kutatása terén az ELTE kutatói egy olyan új módszert vezetett be, amellyel egymással átfedő csoportokat lehet azonosítani. A hálózatokon belüli csoportok a csoporton belüli sűrűbb kapcsolattal rendelkeznek. A többi csoporttal pedig az átfedő részükön (egy adott csoporttag több csoporthoz is tartozhat) keresztül hatnak kölcsön [I4].

A BME kutatói nemzetközi együttműködésben egy olyan lokális algoritmust vezettek be, amely képes az átlapoló modulok hierarchiáját is feltárni [I5]. A súlyozott hálózatok tanulmányozása érdekében új fogalmakat vezettek be, mely mennyiségeket az agykutatástól a pénzügyi hálózatok elemzéséig széles körben használják [I6]. A társadalom nagyskálás szerkezetére vonatkozó „gyenge kötések ereje” hipotézist mobiltelefon-adatok vizsgálata segítségével igazolták [I7], mely munkát az új diszciplína, a számítógépes társadalomtudomány egyik korai dolgozatoként tartják számon. Vizsgálták az ún. temporális hálózatokat, amelyeknél a kapcsolatok csak időlegesen vannak jelen, és megállapították, hogy a moduláris jelleg és a súly-topológia korreláción túl a temporális hálózat villanásos jellege is lassítja a folyamatokat [I8]. Kidolgozták a temporális hálózati motívumok elméletét, és segítségével újszerű kapcsolatokat találtak a kommunikációs hálózatok dinamikus és sztatikus tulajdonságai között [I9].

V.3. Evolúciós játékelmélet

A csúcstechnológiák jelenlegi fejlődésében nélkülözhetetlen statisztikus fizikai módszerek hatékony matematikai hátteret adnak az evolúciós játékelméleti modellek tanulmányozásához. Ezekben a sokszereplős modellekben a játékelmélet fogalmait használják a biológiai élőlények és emberek, ill. embercsoportok közötti kölcsönhatás leírására. A legnagyobb intenzitással kutatott kérdések az olyan társadalmi csapdahelyzetekkel foglalkoznak, amelyek oka az egyéni és közösségi érdek közötti ellentét. Az elmúlt 20 évben kifejlesztett modellek segítségével az MTA MFA kutatóinak vizsgálatai alapján sikerült feltárni számos olyan körülményt, amelyek segíthetik a nagy létszámú közösségeket abban, hogy elkerüljék ezeket a társadalmi csapdahelyzeteket. Kiderült például, hogy a közösség számára előnyös önzetlen magatartás fenntartásában jelentős szerepe van az utánzásnak, aminek hatékonysága jelentősen növelhető a kapcsolatrendszer inhomogenitásával, illetve egyéb topológiai tulajdonságok megfelelő megválasztásával. Számos modell igazolta, hogy az élőködő magatartás elnyomását segítheti a megfelelően kialakított jutalmazás és büntetés, az önkéntesség vagy a kapcsolat megszakításának lehetősége [I10]. Hasonlóan jótékony hatása lehet annak, ha a szereplők nemcsak a választható magatartást adhatják át egymásnak, hanem a tanulás módját, az utánzás pontosságát, vagy a többi szereplőről begyűjtött információt [I11]. A fizikusi szemléletmód hozta felszínre azt az általános tulajdonságot is, miszerint a párkölcsönhatásokat négy olyan alapvetően különböző típusból építhetjük fel, amelyek közül kettő jelen van a fizikai rendszerekben [I12]. Ez a megközelítés az élő és élettelen rendszerek közötti különbségek további szisztematikus elemzéséhez ad hátteret.

V.4. Kvantitatív gazdasági elemzés

A pénzügyi és gazdasági folyamatoknak a statisztikus fizika módszereit alkalmazó elemzése a 90-es évek pénzügyi válságát követően kezdődött el. Ezen témakörben az ELTE kutatói részben a spinűvegek vizsgálatánál kifejlesztett módszereket alkalmazva fontos eredményeket értek el a portfólióoptimalizálásnál [I13]. A pénzügyi adatok elemzésének egyik központi kérdése a különböző értékpapírok árfolyamai közötti korrelációk megértése, hiszen a portfóliókat diverzifikálás érdekében célszerű kevéssé korreláló elemekből felépíteni. A BME kutatói az időfüggő korrelációk módszerének segítségével az egyes cégek közötti hatás irányított hálózatát definiálták [I14]. Kidolgozták az aszinkron jelek korrelációinak az időfüggő korrelációs függvényeken alapuló, hatékony meghatározási módszerét, és ennek segítségével megmagyarázták az azonos idejű korrelációknak a mintavételi frekvenciától való erős függését leíró Epps-effektust [I15]. A részvények (azonos idejű) korrelációs mátrixának elemei felfoghatók egy súlyozott teljes gráf élsúlyainak. Számos versengő eljárás ismert a releváns információ kiszűrésére ebből a nagy adatmennyiségből. A BME munkatársai nemzetközi együttműködésben törvényszerűségeket tártak fel a minimális feszítőfára épülő módszerrel kapcsolatban, különösen arra vonatkozóan, hogy hogyan változik a feszítőfa geometriája – vagyis a korrelációk természete – az idő függvényében, pl. válság hatására [I16].

Az V. fejezet hivatkozásai*

V.1 fejezet

[I1] **T. Vicsek, A. Czirók**, E. Ben-Jacob, I. Cohen, O. Shochet,
Novel Type of Phase Transition in a System of Self-Driven Particles,
Phys. Rev. Lett. **75**, 1226 (1995)

[I2] D. Helbing, **I. Farkas, T. Vicsek**,
Simulating dynamical features of escape panic,
Nature **407**, 487 (2000)

[I3] **M. Nagy, Z. Ákos, D. Bíró, T. Vicsek**,
Hierarchical group dynamics in pigeon flocks,
Nature **464**, 890 (2010).

V.2 fejezet

[I4] **G. Palla, I. Derényi, I. Farkas, T. Vicsek**,
Uncovering the overlapping community structure of complex networks in nature and society,
Nature **435**, 814 (2005)

[I5] A. Lancichinetti, S. Fortunato, **J. Kertész**,
Detecting the overlapping and hierarchical community structure in complex networks,
New J. Phys. **11**, 033015 (2009)

[I6] J-P. Onnela, J. Saramäki, **J. Kertész**, K. Kaski,
Intensity and coherence of motifs in weighted complex networks,
Phys. Rev. E **71**, 065103 (2005)

[I7] J.-P. Onnela, J. Saramäki, J. Hyvönen, **G. Szabó**, D. Lazer, K. Kaski, **J. Kertész, A. L. Barabási**,
Structure and tie strengths in mobile communication network,
PNAS **104**, 7332 (2007)

[I8] **M. Karsai**, M. Kivelä, R.K. Pan, K. Kaski, **J. Kertész, A. L. Barabási**, J. Saramäki ,
Small but slow world: How network topology and burstiness slow down spreading,
Phys. Rev. E **83**, 025102 (2011)

[I9] L. Kovanen, K. Kaski, **J. Kertész**, J. Saramäki ,
Temporal motifs reveal homophily, gender-specific patterns, and group talk in call sequences,
PNAS **110**, 18070 (2013).

* *a magyar szerzők neve vastagon szedve (dőlt betűvel szerepelnek azok a magyar szerzők, akik az adott publikációban külföldi affiliációval szerepelnek)*

V.3 fejezet

[I10] **G. Szabó, G. Fáth**
Evolutionary games on graphs,
Phys. Rep. **446**, 97 (2007)

[I11] M. Perc, **A. Szolnoki**
Coevolutionary games – a mini review,
BioSystems **99**, 109 (2010)

[I12] **G. Szabó, I. Borsos**
Evolutionary potential games on lattices,
Phys. Rep. **624**, 1 (2016)

V.4 fejezet

[I13] **S. Pafka, I. Kondor**,
Estimated Correlation Matrices and Portfolio Optimization,
PHYSICA A **343**, 623 (2004).

[I14] **L. Kullmann, J. Kertész**, K. Kaski,
Time dependent cross correlations between different stock returns: A directed network of influence,
Phys. Rev. E **66**, 026125 (2002).

[I15] **B. Tóth, J. Kertész**,
The Epps effect revisited,
Quantitative Finance **9**, 793 (2009).

[I16] J.-P. Onnela, A. Chakraborti, K. Kaski, **J. Kertész**, A. Kanto,
Dynamics of market correlations: Taxonomy and portfolio analysis,
Phys. Rev. E **68**, 056110 (2003).