

### Szentségtörő régészek a Szentföldön

*Science, 2000. január 7.*

Sehol a földkerekségen nincsenek olyan erős politikai és vallási nyomásnak kitéve a régészek, mint a Szentföldön, a Biblia földjén: három, egymással vetélkedő világvallás hívei várják tőlük a kódós múltba vesző gyökereik igazolását. Íme egy példa.

Amikor szóba került, hogy Izrael a béketeremtés első gesztusaként átadja a palesztinoknak Hebron város nyugati felét, egy izraeli tévéstáb meghívta Israel Finkelstein professzort, a telavivi egyetem régészét a helyszínre, a Mahpéla-barlanghoz, amely a közhit szerint Ábrahám, Izsák, Jákob és más ósatyák sirja. Sok zsidó telepes ugyanis azon a címen nem akarta elhagyni a kiűritendő kerületet, hogy ez a zsidó örökség része, hiszen itt temették el a pátriárkákat, következőképp joguk van bárhol a város területén élni.

Általános felzúdulást keltett a professzor nyilatkozata. Kijelentette, hogy a pátriárkák nem valós történelmi alakok, és a nekik tulajdonított sírok Nagy Heródes király uralkodása (i. e. 37–4) idején, több mint másfél ezer évvel Ábrahám és utódai feltételezett kora után készültek. A telepések nem érték be ezzel, s a kamera elé citálták a helybeli rabbit, mondaná el ő is a véleményét. S elmondta: „Bánom is én, mit beszélnek a régészek. Nekem elég annyi, hogy ez a föld több ezer éve a miénk.”

Causa finita. A hittel nem lehet vitatkozni.

Ez a kis történet jellemzi, milyen felfokozott érzékenységgel találkoznak manapság a régészek Izrael határain belül és a megszállt területeken egyaránt. Gyakran

keverednek konfliktusba egyházi vezetőkkel, kivált az ortodox hitközségek vakbuzgó hangadóival, akik a Bibliát szó szerint veendő történelemlékvénynek tekintik. A szent szövegeket hitelesítő leleteket ugyan ünneplik, de egyébként még a kutatás jogát is kétségbe vonják.

Ilyen helyzetben számos izraeli archeológus igyekszik lehetőleg „semleges” kutatási célokat választani, amelyek nem érintik a hit és a hagyomány érdekeit. Vannak például, akik a történelem előtti korok nyomait keresik a Jordán folyó völgyében, amely minden bizonnyal az egyik fő útvonala volt hajdan az Afrikából kiáramló emberrajoknak. Mások a Genezáreti tótól délre, Sha'ar Hagolannál a Közel-Kelet egyik legnagyobb, 8000 éves újkőkori települését hozzák felszínre, amely a félnomád jarmukiánok fővárosa lehetett, hatalmas építményekkel (egy minap kiásott épület alapterülete 3200 négyzetméter), kövezett utcákkal s a civilizáció magas fokára valló tárgyakkal (háromszáz remek agyagfigurát nemrég a New York-i Metropolitan Museum of Art kiállításán mutattak be). Ismét mások a bronzkori gazdasági, kereskedelmi viszonyok, az életmódról árulkodó házieszközök megismerésére fordítják figyelmüket.

Mindazonáltal természetesen egyetlen régész sem lehet egészen közömbös a távoli elődök, kánaániták, filiszteusok, izraeliták tárgyi emlékeinek feltárása iránt. Jelenleg is a mintegy kétszáz ásatás közül a két legnagyobb éppen elsőrendű bibliai helyeken folyik. Az egyik: Askelón, a filiszteusok egykori kikötője, a másik: az észak-izraeli Megiddónál az állítólag Salamon király idejéből fennmaradt erődítmény.

*Salamon trónfosztása.* A megiddói romkert bejáratánál tábla tájékoztatja a turis-

tákat: „A salomoni erőd kapuja i. e. 970–930”. A már régebben kiásott és újabban napfényre került masszív kőfalak valóban tekintélyes építményekre, nagy hatalmú építetőre vallanak.

A bölcsességéről, káprázatos gazdagságáról, a szerelmi költészet csodájának, az Énekek énekének szerzői nimbuszáról, nem utolsósorban hétszáz feleségéről és háromszáz ágyasáról nevezetes Salamon (magyarul: békés) király a bibliai kronológia szerint i. e. 970-ben követte apját, Dávidot a trónon, s négy évtizedes uralkodása – a Szentírásból következtetve – a zsidó királyság fénykora volt. A Királyok I. könyvének kiragadott sorait idézzük (Károli Gáspár fordításában): „Salamon pedig uralkodik vala minden országokon a folyóvíztől fogva mind a Filiszteusok földéig és Egyiptomnak határáig; és ajándékokat hoznak vala és szolgálnak vala Salamonnak, életének minden idejében És parancsolván a király, nagy követeket, drága szép követeket hozának a Ház (tudniillik a jeruzsálemi szentély) fundamentumának, faragott követeket... És megbérelé a Háznak falait belől czedrusfából csinált deszkákkal, az egész Házat beboritá arannyal... Azután a maga házat építé Salamon tizenhárom esztendőig A Fáraó leányának is, kit feleségül vett, csináltat házat.”

A terjedelmes leírásból kiderül, hogy még sok egyéb nagy építkezés fűződik nevéhez; fallal véttette körül Jeruzsálemet, palotákat, védműveket emeltetett, Gézer, Hácór, Megiddó is uralkodása idején épült. Élénk kereskedelmi kapcsolatban állt a szomszédos népekkel, főképp a föníciai városállomokkal, rézbányákat, fémmegmunkáló műhelyeket létesített, elképesztő mennyiségű kincset halmozott fel. Így tudja a Biblia és sok nemzedék apáról fiúra átörökített emlékezete.

Hová lett mindez?

A kérdés már évtizedekkel ezelőtt, Megiddó első nyomainak felfedezésekor felvetődött, s azóta is foglalkoztatja a kutatókat. A közelmúltban a bibliai szöveg hitelét megtépző tanulmányt publikált Megiddóról *David Ussishkin*, a tel-avivi egyetem régésze és kollégája, *Israel Finkelstein*, valamint *Baruch Halpern*, a Pennsylvania Egyetem közel-keleti történelem-szakértője. Rétegvizsgálatok és cse-

réptöredékek kormeghatározása alapján arra a következtetésre jutottak, hogy a megiddói romok jó kétszáz évvel Salamon halála után keletkeztek. Ha ez igaz, oda az egyetlen bizonyíték! Hiszen Megiddón kívül semmilyen nyom nem maradt a hatalmas salomoni királyság létéről, sok évtizedes kutatás bizonyult meddőnek. Egyiptomi feliratok, jöllehet sok információval szolgálnak az i. e. X. századból, egy árva szóval sem említik a szomszédos nagy királyságot. Alig négy-öt évvel Salamon elhunya után I. Sosenk fáraó hadaival elfoglalta Palesztinát, a korabeli „tudósítás” szerint száz várost hódított meg; ezek közül eddig huszonötöt sikerült azonosítani, ám Megiddó nincs közöttük. Asszír és babilóniai források csak Salamon utódairól tudnak, s csupán az i. e. IX. században uralkodott Ahab király emlékét örökítették meg.

Nem csoda, hogy Ussishkinék közleménye szenvedélyes vitákat keltett. S még inkább felborzolta a közhangulatot *Philip Davies*nek, a sheffieldi egyetem bibliakutatójának 1992-ben *In Search of Ancient Israel* címmel megjelent kötete. A szerző ugyanis nem kevesebbet állít, mint hogy a Dávid és Salamon hatalmas királyságáról szóló bibliai elbeszélés csupán színes legenda, a képzelet szüleménye, amelyet három-négy évszázaddal a tárgyalt történet után, a babilóniai fogság idején jegyeztek fel, s a két uralkodó létének bizonyítéka nem több, mint Ádám és Éváé. Dávid és Salamon legfeljebb szerény rangú törzsi vezetők lehettek, ha egyáltalán éltek, s ez esetben is szerepüket a bibliai szerzők mértéktelenül felnagyították. Davies szerint a régészek soha nem minősítettek volna leleteket a X. századból valónak, ha nem mindenáron az Írás szövegének hitelesítésére törekednek.

Ez bizony kegyetlen deheroizálás, mondhatni szentségtörés. Semmissé nyilvánítja a dicsó múltat, az ósatyák tündöklő korát, a királyság bő negyszáz éves történetének alapkövét, kiagyalt mesévé fokozza le az első jeruzsálemi szentély keletkezésének leírását, Sába (a sabeusok) királynőjének sokaktól megénekelte liaisonját Salamonnal (amely találkozásból az etióp uralkodóház eredeztette önmagát) és a megkövesedett hitnek még sok egyéb fogódzóját.

Nem lehet hát többé a Bibliát történelemkönyvként forgatni? Meg kell fosztani a régészetet az egyetlen írott forrástól, amely számos esetben – Hácór, Masszada stb. felkutatásában – valós adatokkal irányította a feltáró munkát? Nem szükségszerű-e, hogy az archeológusok egyik kezükben a Bibliával, a másikban ásóval dolgozzanak? A zsidóság palesztinai otthonát érintő súlyos gondok ezek, háttérükben hitbéli meggyőződéssel és a politikai helyzettel is átszőtt elvárásokkal.

*Újra kell írni?* A felháborodás magas hullámokat vetett, egy telavivi újság még antiszemitizmussal is megvádolta a „tagadás szellemének” korifeusait, Daviest, Finkelsteint, Ussishkint és mindazokat, akik ki akarnák radiózni a zsidó történelem aranyfejét. Tudós körökben legnevesebb opponensük, *Amihal Mazar*, a jeruzsálemi Héber Egyetem professzora felindulásában elragadtatta magát. „Ha a Bibliát félre kellene tennünk – mondta –, akkor az utolsó száz évben keletkezett egész régészeti irodalmunkat a szemétre hányhatnánk.” Szerinte képtelen vakság Dávid és Salamon alakját egyszerűen a bibliai mitológia körébe utalni. Mert igenis vannak létüket igazoló tárgyi emlékek. 1993-ban például az észak-izraeli Dan városánál feltártak egy táblát, amely „Dávid házáat” említi; ez kézzel fogható lelet, ha kora vitatott is. Továbbá: Sosenk fáraó hadjáratának rombolásai sok helyütt felismerhetők, Megaddóban is, vagyis voltak a kritikus korszakban nagy építmények. A növényi maradványok radiokarbon-vizsgálata ugyancsak alátámasztja a hagyományt, noha a kormeghatározás hibahatára elég nagy. Dávid és Salamon tehát nem fiktív alakok, csak talán nem voltak oly roppant hatalom birtokában, mint ahogy a Biblia elbeszéli. A jeles tudós azt is elképzelhetőnek tartja, hogy Megiddó és más monumentális építmények maradványai a királyság későbbi korszakából valók, a kronológia lehet pontatlan. De semmibe venni a Bibliát? Istenkáromlás.

Napjainkig sem csillapodtak a viták, cáfolható és cáfolhatatlan érvekkel hadakozó frontok állnak egymással szemben. A magukat „bibliai minimalistáknak” nevező kutatók csupán másodlagos értékű kala-

uznak tekintik a Bibliát, vallási dokumentumot látnak benne, de azért figyelembe veszik, mint minden más írásos nyomot. Forgatják, de nem okvetlenül veszik irányadónak, ellentétben az ortodox táborral, amely minden szavára esküszik. Úgy látszik azonban, hogy mostanában a középszerű keresés kezd felülkerekedni a régészek gondolkodásában.

Még Israel Finkelstein is engedékenyebben fogalmaz: „Kérdezik, hogyan bizhatunk a Biblia egyes részeiben, másokban viszont nem. Nos, az a dolgunk, hogy elvállasszuk egymástól a hiteles és a fiktív részleteket.” Elismeri, hogy ha teóriája igaz, ez még nem jelenti, hogy Dávid és Salamon nem léteztek volna, csak esetleg később éltek, a bibliai méreteknél sokkal kisebb közösség élén álltak és kisebb területet foglaltak el. Finkelstein láthatólag közeledett Mazar professzor nézetéhez, de azért mégsem visszakozik egészen. A Királyok könyve – hangsúlyozza – a babilóniai fogság nyomorúságában készült, márpedig közismert jelenség, hogy nagy traumák, vereségek után a népek hajlamosak a dicsó múlt álomképeit festeni maguk elé, kiszínezni, felnagyítani a szürke valóságot. „A bibliai szerzők úgy beszélik el a történetet, ahogy szerették volna, ha történik... Újra kell írni a korabeli Levante históriáját.”

*Tilos a sírok megbolygatása.* Nemcsak a hajdani királyság dolgában támadt viszály a régészek más-más felfogású csoportjai, valamint a tudós kutatók és a hitű közvélemény között.

Négy évvel ezelőtt *Patricia Smith* antropológus és munkatársai (Héber Egyetem, Jeruzsálem) tanulmányt tettek közzé a Gene című folyóiratban a régészeti feltárások során talált emberi maradványok nemének meghatározására szolgáló új, genetikai módszerről. Ez az X és az Y kromoszóma parányi különbségére építő metódika a csontszövetet, a fogzománcot alkotó egyik fehérjéből, az amelogeninből mutatja ki a csontok nemi jellegét, s különösen gyermektetemek vizsgálataiban juthat fontos szerephez, tudniillik ezek nemének meghatározása még teljes csontváz előke-rülése esetében is rendkívül nehéz, ha egyáltalán lehetséges. Az antropológusnő és kollégái sikeresen alkalmazták eljárásu-

kat izraeli lelőhelyeken kiásott 2000–8000 éves csonttöredékekből, fogakból kivont DNS vizsgálatára, 22 közül 18 lelet, többségében gyermekcsontok nemi hovatarthatóságát tudták egyértelműen meghatározni.

Az amelogenin-teszt mérhetetlen jelentőségű segítséget nyújthat a régészeti kutatásban. Fényt vethet távoli korok családi, rokoni kapcsolataira, ősi társadalmak genetikai viszonyaira. Nagyszerű felfedezés, már világszerte használják. Kivéve Izraelt, ahol az ötlet született, és ahol egyidejűleg vagy egymás után oly sok különböző nép élt, s ezért a csontleletek eredetének tisztázása elsődrendű igény.

Történt ugyanis, hogy ortodox vallási vezetők követelésére a legfőbb ügyész határozatban mondta ki: tilos régi sírok megbolygatása, emberi maradványok sem antropológiai, sem régészeti vizsgálatra nem bocsáthatók, az ásatásokon napfényre került csontokat azon nyomban át kell adni újratemetésre a vallásügyi minisztériumnak. Ezzel a fizikai antropológia gyakorlatilag megszűnt Izrael régészetében – jelentette ki *Amir Drori*, az illetékes hatóság igazgatója, a kutatók meg elkeseredetten mutattak rá: a fontos információk tömegétől esnek el így, ideértve a legkorábbi zsidó települések kutatásából remélhető adatokat is.

Miután az ügyészi fellépés sem elégítette ki az ultrákat, és tüntetések sorozatával tiltakoztak minden olyan feltárás ellen, amely emberi csontokat hozhat felszínre, függetlenül attól, hogy ezek mely néptől származnak, 1998-ban a kormány kísérletet tett a feszültség oldására azzal, hogy öt ortodox rabbit nevezett ki a 38 tagú országos régészeti tanácsba, amely az ásatási engedélyek kiadását véleményezi. A rabbik ugyancsak leszögezték, hogy a temetkezési helyek megbontása a vallás törvényeit sérti, de hozzájárultak a csontok kiemeléséhez szükség esetén, úgy, hogy azokat bármiféle vizsgálat nélkül azonnal újra el kell temetni. De még ez az újabb szigorú állásfoglalás sem vetett véget a heves demonstrációknak. A múlt év júniusában például egy régészcsapat a közép-izraeli Ben Shemennél dolgozott, s a tiltakozók riasztására odaérkezett rendőrök leállították a munkát, és két kutatót letartóztattak.

Ez az incidens végképp elbizonytalantotta a diszciplína művelőit. *Moshe Kochavi*, a tel-avivi egyetem professzora, egyszersmind a régészeti tanács tagja érzékletes példával illusztrálta a szerencsétlen helyzetet. „Ha a bulldózer belemarokol egy sírba, mi legyen a teendők? Hagyjuk, hogy a gép szétrombolja a sírt, vagy engedjük, hogy a régész szakszerűen feltárja? Egyébként is, honnan lehetne tudni, hogy a maradványok zsidó, vagy nem zsidó embertől származnak-e?” Mások élesebb hangot ütöttek meg. *Patricia Smith*: „Milyen jögon érzik hivatva magukat egyes vallási vezetők arra, hogy filiszteusok, kánaániták vagy más prehisztorikus emberek tetemei fölött izraelita törvények szerint örökdienek?”

Az ortodoxia azonban nem tágtott. *David Schmidl* rabbi, a tiltakozó mozgalmak egyik szervezője félresöpört minden ellenérvet. „A földi maradványok megbolygatása elfogadhatatlan, felzaklatja és meggyötri a lelkeket – mondta –. Ami pedig a nem zsidó sírokat illeti, ezek megbontása valóban kevésbé problematikus, mégis minden tetemet tiszteletben kell tartani.” Ez Schmidl rabbi mértékadó véleménye. A kormány pedig hallgat, jöllehet a zsidó történelem hajnalának elemi érdekű megvilágítása a tét. Mintha Izrael még nem döntötte volna el, hogy egyházi, vagy világi állam akar-e lenni.

Az *elsőbbség bizonyításáért*. Újabban már a palesztin régészek is hírt adnak magukról, munkához láttak azokon a területeken – a gázai övezetben és másutt –, amelyeket Izrael kiűritett, s átadott a Palesztin Nemzeti Hatóságnak; a katonai ellenőrző szervek eddig nem adtak engedélyt régészeti feltárásokra. *Hamud Salem*, a nemzeti hatóság által felállított régészeti intézet (Birzeit) munkatársa például az elmúlt év júliusában amerikai támogatással Khirbet Siyanál folytatta, amit annak idején abbahagyott: a Palesztinában fellelt legrégebbi bizánci templom romjait ássa ki a földtakaró alól.

A palesztin régészet voltaképp a nullaponttól indult újra, s két fő gondja: a pénz és a szakemberhiány. A Ramallahban székelő régészeti hatóságnak évente min-dössze félmillió dollár jut a költségvetésből.

Külföldi – holland és olasz – adományok ugyan megfelelik ezt az összeget, ám az egész anyagi keret is kevés a több ezer lelőhely védelmére és állagmegóvására, a kutatásra már nem telik. A jelenleg folyamatban lévő munkálatok költségeit holland és olasz intézetek fedezik, saját munkatársakkal dolgoztatnak, a palesztinok jobbára csak segédkeznek nekik, és sajnálkozva kénytelenek tudomásul venni, hogy az eredményeket idegen nyelveken publikálják, s nem fordítják arabra. Szeretnének a külföldiek egyenrangú partnerei lenni.

A másik súlyos probléma: kevés a képzett szakember. Mindössze 15–20, Európában diplomát szerzett régészre lehet számítani. Csak egyetlen helyen, a ramallahi iszlám régészeti intézetben folyik az utánpótlás képzése, Birzeitben megszűnt, amikor az amerikai igazgatót rejtélyes körülmények között meggyilkolták. Kevés tehát a hozzáértő kutató a feladatok óriási tömegéhez, lévén a palesztin fennhatóság alá került területek a világ egyik leggazdagabb régészeti kincseshányja.

Miként az izraeliek, a palesztin archeológusok is szeretnék távol tartani magukat a politikai befolyástól. Reménytelen óhaj. A palesztin közvélemény türelmetlenül szorgalmazza: mutassák fel múltjának minél régebbi bizonyítékait, igazolják, hogy elődeik előbb éltek ezen a tájon, mint a mőzeshitű törzsek. Hírlapok, magazinok cikkeznek arról, hogy a palesztinok a kánaánitáktól és más, a zsidó betelepülést megelőzően itt honos népektől származnak. A régészek ugyan elhatárolják magukat az efféle fantazmagóriáktól, de aligha tudnak érintetlenül kitérni a nemzeti önbecsülés talpköveit kereső hatások elől.

Nem merészség megjósolni: ha a Szentföldön egyszer a fegyverek múzeumba vagy rozsdatemetőbe kerülnek, a régészet mezében, ásóval folyik majd tovább a közel-keleti hidegháború a honfoglalás elsoőbbségének babérajárt.

*Nyarády Gábor*

## **Fizika: múlt, jelen, jövő**

*Physics World, 1999. december*

A brit fizikus egyesület folyóirata tavaly hét kérdést tett fel 250 fizikusnak. A válaszokat a lap decemberi számában elemezték. 130 érdemi választ kaptak, ezek egy része előrelátható volt, de esetenként kaptak meglepő, gyakran gondolatébresztő és néha filozofikus válaszokat is. A felkérésnél igyekeztek egysúlyt teremteni az elméletiek és a kísérletiek, a férfiak és nők, a fizika különböző ágai és a világ országai között.

Az első kérdés: *mi volt a három legjelentősebb felfedezés a fizikában?* A válaszok között újra és újra három kulcsfelfedezést emeltek ki: kvantummechanika, Einstein speciális és általános relativitáselmélete, newtoni mechanika és gravitáció. Mindhárom esetben a kérdéses felfedezés nemcsak a fizika éppen érintett területén idézett elő forradalmat, hanem olyan mély és általános keretet szabott meg, hogy minden későbbi fizikai elméletet e keretek között kellett megfogalmazni.

Newton mozgástörvényeit és a gravitációt azért választották, mert együttesen az első nagy áttörési kísérletet jelentik abba az irányba, ahol a fizika törvényei a matematika nyelvén írhatók le, és e törvényeket kísérletekkel lehet ellenőrizni. Einstein speciális és általános relativitáselmélete teljesen felfordította a teret és időt univerzálisnak és megváltoztathatatlanul valló korábbi felfogást, és olyan meglepő új világot állított helyébe, melyben a tér és idő nem szilárd, hanem alakítható. A szintén nagyon népszerű választást, a kvantummechanikát „minden idők legradikálisabb változást hozó fizikai felfedezésének” nevezték. A kvantummechanika teljesen felfordította az okság, az objektivitás és a kísérletek megismételhetősége klasszikus fogalmait, ezek helyett a természet lényegéhez tartozó spontaneitást vezette be. Sokan azt is kiemelték, hogy a kvantummechanika nemcsak elegáns és hatékony, de kiemelkedően hasznos is. Végül is a kvantumelmélet vezetett el a félvezetők, tranzisztorok, lézerek kifejlesztéséhez, de

ide sorolhatjuk az egész mikroelektronikai ipart is.

Sokan választották az elektromosság és mágnesség egyesítését, Maxwell munkásságát, mivel az elektromágnesség és a newtoni fizika összeegyeztethetlensége vezetett el a speciális relativitáselmélet kidolgozásához. Ugyancsak sokan említették a legfontosabbak között annak felismerését, hogy minden anyag atomokból áll. Többen olyan egyedi felfedezéseket jelöltek meg, melyek új forradalmakhoz nyitottak utat a fizikában: Planck kvantumhipotézise, a radioaktivitás felfedezése, a világegyetem tágulásának felismerése, a fénysebesség állandósága, az elektron felfedezése, az atommag felfedezése, a DNS szerkezetének feltárása. A megemlített felfedezések között a legfrissebb a neutrínó tömegéről 1998-ban szerzett bizonyíték volt.

A 2. kérdéssel arra kerestek választ, hogy *melyik öt fizikus tette a legnagyobb hozzájárulást a fizikához?* 61 fizikus kapott legalább egy szavazatot; nem meglepetés, hogy Albert Einstein került a lista élére 119 szavazattal. Einstein speciális és általános relativitáselmélete mindörökké megváltoztatta a fizikát, forradalmian megváltoztatta tér- és időszemléletünket. Még olyan „kisebb” eredménye, mint a fotoelektromos hatás magyarázata is elég lenne ahhoz, hogy minden idők legnagyobb tudósai közé soroljuk. Isaac Newton a 2. helyre került 96 szavazattal. Az ő mechanikai és gravitációs törvényei a klasszikus fizika hatalmas területeinek képezik alapját, ezen felül jelentősek optikai, fény- és hőtani eredményei. Newton talán azért kapott kevesebb szavazatot, mint Einstein, mert több válaszoló saját választását a 20. századra korlátozta. Mások meg úgy tartották, hogy a listán 6. helyezett Galileinek jár elismerés, mert előkészítette Newton felfedezéseit. A 3. helyen James Clerk Maxwell skót fizikus végzett, aki négy híres egyenletével az elektromosság és mágnesség két évszázad alatt összegyűlt kísérleti felfedezéseit írta le, sikeresen egyesítve a két jelenséget egyetlené, elektromágnességgé. Maxwell kulcsszerepet játszott a kinetikus gázelmélet kidolgozásában is, kortársához, a listán 11. helyezett Ludwig Boltzmannhoz hasonlóan. Boltzmann fek-

tette le a statisztikus fizika alapjait, megalakította az entrópia fogalmát, és sokat tett annak kimutatására, hogy minden anyag atomokból áll.

A vezető 15 fizikus között öt olyan található, aki a 20. század elején a kvantummechanika kidolgozásán munkálkodott (4. Niels Bohr, 5. Werner Heisenberg, 8–9. Paul Dirac és Erwin Schrödinger, 11. Max Planck). Sokan neheznek találták, hogy egyetlen nevet kiemeljenek ebből a csoportból. Dirac dolgozta ki sikeresen a relativisztikus kvantumelméletet és ő jósolta meg az antianyag létezését, mégis Bohr került ennek az alcsoportnak az élére, 47 szavazata a 4. helyre tette. Bohr ismerte fel, hogy az atomban az elektronpályák kvantáltak. Sok éven át ragaszkodott „félklasszikus” atomfelfogásához, mégis ő inspirálta Heisenberget és Schrödingert a kvantumelmélet mátrix- és hullámelmélet változatának kidolgozására.

A 10. helyre sorolt Rutherford híres kísérlete mutatta meg, hogy az atomnak magja van. Rutherford munkája nyitott teret az egész magfizikának, végső soron az atomenergia felszabadításának. E területeken, mások mellett, a 14. helyre sorolt sokoldalú Enrico Fermi is dolgozott. Marie Curie fedezte fel a rádium és polónium elemeket, számos magfizikai eredményt ért el – 6 szavazattal a 15. helyre került a listán. Rajta kívül csak egyetlen nő kapott még szavazatot: Cecilia Payne-Gaposchkin brit születésű asztrofizikus. Ő fedezte fel, hogy fantasztikusan egyforma a csillagok összetétele és a hidrogén minden más elemnél milliószor gyakoribb a világegyetemben.

A vezető 15 között a legmodernebb fizikus Richard Feynman (1988-ban halt meg), aki sokat tett a kvantumelektrodinamika, az elektromágneses kölcsönhatás kvantumelméletének kidolgozásáért. Az első 15-ben kapott helyet (a 11. helyen), Boltzmannal holtversenyben Michael Faraday, aki 1821-ben felfedezte, hogy az áram mágneses térben forgató hatást vált ki. Ez a felfedezés készítette elő Maxwell elméletét és az elektromotornak, a modern ipar egyik alapeszközének a megalkotását.

A szavazatot kapott 61 fizikus közül 11-en még ma is élnek. A magfizikus Hans Bethe vezeti ezt a csoportot 3 ponttal.

A 3. és 4. kérdés összefügg: *Mi a legnagyobb megoldatlan probléma az ön szakterületén? Mi a legnagyobb megoldatlan probléma a fizika többi területén?* Mindkét válaszszorozatot három széles terület uralta: a részecskefizika (beleértve a kölcsönhatások egyesítését, a kvantumgravitációt, a minden elméletét stb.), az asztrofizika (ősrobbanás, sötét anyag, kozmológiai állandó) és a kvantummechanika misztériumai. A kvantumfizika legnagyobb megoldatlan problémája az a kérdés, hogy valójában mit ír le az elmélet. Mi a megfigyelés? Mi az információ?

Mindkét válaszszorozatban felbukkan- tak más problémák is, például a klímaváltozás, a fúziós energia, az atommag szerkezete, a Nap mágnessége. Sok válaszoló a kondenzált anyagok fizikájából hozott problémákat, leggyakrabban a magas hőmérsékletű szupravezetés eredetét említették. Szerepelt a turbulencia, olvadás, az üvegátmenet és a folyadékszerkezet problémája is. Gyakran említett téma a komplexitás is, a fizikai gondolatok alkalmazása egyre nagyobb és egyre bonyolultabb struktúrákra, végső célként az agra és élő szervezetekre. Az új határ, melyről semmit sem tudunk, hogyan lehet egységes módon leírni a egyensúlytól távoli összetett rendszereket. Ilyen rendszerek a homokdomboktól a biológiai sejtekig, számítógépekig sokfelé előfordulnak, de nem világos, hogy alkalmazhatók-e és hogyan alkalmazhatók rájuk a statisztikus mechanika elvei. Az atomfizika talán visszafordul, miután eljutott az egyes atomokhoz, az egyes fotonokhoz, az egyes kvantumállapotokhoz, és megpróbál sokkal összetettebb rendszereket ellenőrzése alá vonni. Ennek egyik oldala a kvantumszámítógép. Teller Ede véleménye: „Úgy tűnik, hogy a fizika nagyjából teljes magyarázatot tud adni mindenre, kivéve az életet. Lehet, hogy az élet megértése teljesen új megközelítést igényel?”

Sok válaszoló az első kérdésre adott válaszában hangsúlyozta annak fontosságát, hogy univerzumunk megérthető fizikai törvények alapján, de súlyos kérdések

maradtak nyitva ezeknek a törvényeknek a természetét illetően. Milyen mértékben egyedülállóak a fizika törvényei? Vannak-e más törvények által kormányzott más univerzumok? Az ismert univerzum érzékeny a részecskék és erők tulajdonságainak viszonyára. Ha csak néhány százaléknnyival is más lenne a kölcsönhatások erőssége vagy a részecskék tömege, akkor a csillagokban nem égne tűz és a világegyetem a maitól nagyon nagyon eltérő hely lenne. A hűrelmélet magyarázatot ad a részecske és erő tulajdonságokra? Meg tudja magyarázni, hogy miért ilyen a világegyetem?

Érdemes F. Wilczek elméleti részecskefizikus figyelmeztetését idézni: „Nem szeretem ezt a kérdést, mert veszélyes tendenciát bátorít. A tudományban észben kell ugyan tartanunk a „legnagyobb” megoldatlan problémát, de a gyakorlatban egyensúlyozni kell a probléma belső nagyszerűsége és saját megoldási képességünk között.” Galileit hozta fel példának. „Galileit körülvtették a teológia, az arisztotelészi filozófia nagy professzorai, akik a világegyetem természetének, az élet értelmének és hasonlóknak »legnagyobb« kérdéseivel foglalkoztak hosszú tanulmányaikban. De Galilei sokkal tartósabb hatást fejtett ki azzal, hogy tanulmányozta és pontosan megértette, hogyan gurul le egy golyó ferde síkon.”

*Fizikát tanulna, ha idén kezdené az egyetemet?* – szölt az 5. kérdés. A megkérdezett fizikusok óriási többsége megelégedett tárgyával. A válaszadók mintegy 70%-a fizikát tanulna, ha ma kezdené az egyetemet, 13% nem döntött vagy határozatlan volt. Csak 17% mondta, hogy nem a fizikát választaná. Voltak köztük olyanok, akik azon az alapon választottak, hogy kapnak egy második életet, mert fizikára egy élet elég volt. Ahogy egy japán fizikus megfogalmazta: „Túl keményen dolgoztam. Legközelebb élvezni akarom az életet.” Sokan panaszkodtak arra a növekvő stresszre, amit az alapkutatókól a finanszírozók által megkövetelt „fontosság” és annak igazolása okoz. Többek szerint a fizika ma egyszerűen túl nagy, a bevezető időszak túl hosszú ahhoz, hogy fiatal kezdők hatást gyakorolhassanak. A „nem” vagy „talán”

válaszokat adók többségét a biotudományok vonzzák. Mások a számítástudományban látják a jobb választási lehetőséget.

*Ha most kezdene fizikai kutatásokhoz, melyik területet választaná?* – tudakolta a 6. kérdés. A válaszadók között – több mint kettő az egyhez arányban – többségben voltak azok, akik ma kis ugyanazt a területet választanák. Nehéz a véleményeket osztályozni, talán a csillagászok és az asztrofizikusok maradnának legszívesebben ugyanazon a területen. „A világegyetem tanulmányozása lesz a főtéma a fizikában a 21. században.” „Az emberek számához viszonyítva az asztrofizikában és kozmológiában akad a legtöbb probléma, mostanában nagyon lenyűgöző a felfedezések gyakorisága.” Az asztrofizika és kozmológia más területen dolgozó fizikusok számára is vonzó.

Sok válaszoló azonban inkább a biológiai tudományok felé fordulna, úgy érzik, itt sokkal gyorsabban és sokkal könnyebben tudnának komoly eredményeket elérni. A fizika központi diszciplínái körül túl sok ember zsúfolódott össze és túl kevés gondolatot követnek. Biológiai területre alkalmazott fizikát választanék, ahol a divatos gondolatok távol esnek a fizikától, fogalmazta meg álláspontját az egyik válaszadó. Itt sokkal gyorsabb az ütem, gyorsan jönnek az új módszerek, nagyobb annak az esélye, hogy komoly eredményt lehet elérni. Mások szerint a 21. században a fizika, biológia és a számítástudomány közti területek tartoznak majd a legígéretesebbek közé.

A legbecsületesebb értékelést John Ziman, a Bristol University emeritus professzora adta: „Azt választanám, ami először megragadta az érdeklődésemet és figyelmeimet, mivel ha már az ember belemerül, minden kutatási terület egyaránt veszélyes és unalmas, ugyanakkor minden kutatási terület egyformán magával ragadó és szivderítő.” Ki tud ezzel vitába szállni?

A 7. kérdést szándékosan provokatívan fogalmazták a szerkesztők: *Stephen Hawking szerint 50% az esélye annak, hogy a következő húsz évben egy teljes egyesített elméletre találunk. Egyetért azzal, hogy látótávolságban van az elméleti fizika vége?* A szinte kórusban felhangzó válasz határozottan nem volt. A legáltalánosabb kritikát az

váltotta ki, hogy a természet négy alapvető kölcsönhatását egyesítő elméletnek, a minden elméletének megtalálását a kérdezők azonosították az elméleti fizika végével. Néhány elméleti fizikus egyetértett Hawking felfedezési esélylatolgatásával, de többek szerint 50–100 évre lesz szükség. Húsz év elegendő lehet annak bizonyítására, vajon a szuperhúr elmélet mindennek az elmélete-e vagy a semmi elmélete, középút nincs.

Végtelenül naiv az az elképzelés, hogy az utolsó téregyenlet papírra vetésével véget ér a fizika. 1865-ben például Maxwell elkészült az elektromágneses téregyenletekkel, amikor Ampère törvényéhez illesztette az eltolási áramot. Ez az elektromágnesség kezdete volt, nem a vége. Amikor Schrödinger és Dirac felírta a kvantummechanika hullámegyenletét, ez a kvantummechanika kezdete és nem a vége volt. Amikor Einstein felírta az általános relativitás egyenleteit, akkor a modern gravitációelmélet és kozmológia megkezdődött és nem véget ért.

Többen kiemelték, hogy a minden elméletének felfedezése csak kis hatással lesz a fizika többi részére. Óriási áttörés lesz az egyesített elmélet, de ez nem fog sok fontos problémát megoldani a kondenzált anyagok fizikájában, a biofizikában, az asztrofizikában és így tovább. Biztosan nem fog sokkal világosabb képet adni az élet vagy az intelligencia eredetéről. A redukcionizmus látványosan kudarcot vallott, a minket körülvevő makroszkopikus jelenségek megértéséhez nem indulhatunk ki a hűrokból. A leírás minden szintjének megvan a saját logikája, matematikája és fenomenológiája. Ha meg is születik az egyesített elmélet, hatalmas tennivaló halmaz marad.

Vera Rubin asztrofizikus írta: „Ha még hinnénk is abban, hogy húsz év múlva minden ismert lesz a fizikában, hitem szerint a későbbi felfedezések és csillagászati megfigyelések meg fogják mutatni, hogy tévedtünk. De éppen ez adja a tudomány szépségét. Nehéz azt hinni, hogy ötszáz év múlva néhány elképzelésünket nem a 'zseniális, de primitív' osztályba sorolják.”

Jéki László

## Oroszország és a 21. század

*OMFB Nemzetközi Hírlevél,  
1999. december*

1999. november 30-án tartották a második „Oroszország és a 21. század” című tudományos konferenciát az orosz parlament Szövetségi Tanácsa, a Tudományos és Technológiai Minisztérium, az Oktatásügyi Minisztérium, valamint az Orosz Tudományos Akadémia szervezésében. A rendezvényen mintegy 300 fő, az ország tudományos és tudománypolitikai elitje vett részt.

A konferenciát *Jegor Sztrojev*, az orosz parlament Szövetségi Tanácsának elnöke nyitotta meg, aki szerint a fő kérdés Oroszország számára az új évszázadban az, hogy az ország meg tudja-e őrizni nagyhatalmi státusát. Ennek a problémának a megoldásához nyújthat nagy segítséget a tudós társadalom, amelynek a véleményét már 1996 óta kéri ki az ehhez hasonló fórumokon.

Sztrojev elmondta, hogy Oroszország egyik fő problémája az alacsony központi költségvetés. Az elfogadás előtt álló 2000. évi költségvetés alig éri el a 135 USD/fő értéket. A jelenlegi helyzetből történő kilábalás egyik fő húzóereje lehetne a tudomány és a high-tech, hiszen a világ tudósainak 12%-a dolgozik Oroszországban. Ugyanakkor sajnálatos, hogy a tudományigényes termékek világpiacából Oroszország részese csupán 0,3%, aminek egyik oka, hogy csak a vállalatok 5,7%-a foglalkozik innovációval. Némi reményre ad okot, hogy 10–15 makrotechnológiai irányzatban Oroszország még őrzi világelsőségét. A továbblépés egyik lehetősége a külföldi tőke bevonása lehet, de ehhez megfelelő befektetői környezetet kell teremteni.

A kormányfő nevében *Ilja Klebanov* miniszterelnök-helyettes megerősítette, hogy a gazdasági fejlődés érdekében jobban kell hasznosítani a tudományos potenciált. A tradicionális eredmények és a természeti kincsek gazdagsága reményt ad az ország vezető pozíciójának megőrzésére. A miniszterelnök-helyettes a fejlődés irányaként az információs és telekommunikációs technológiákat, eszközöként pedig az egye-

sített tudományos, technológiai és termelőközpontok létrehozását jelölte meg.

Az Orosz Tudományos Akadémia részéről *Nyikolaj Plate* tudományos főtárgyvezető helyen a globalizáció jelentőségét emelte ki, hiszen sok olyan probléma van, melynek megoldására még a nagyhatalmak sem képesek egyedül. A tudomány fejlődésének másik fő elemeként az akadémikus az emberi tényezőt jelölte meg. Sajnálatos, hogy az emberről még mindig túl keveset tudunk. Ez is egyik oka az emberiség előtt álló szociális és humán problémáknak, beleértve a vallási és etnikai konfliktusokat, illetve a pszichotrop anyagok és az információrobbanás társadalmi hatásait. Az emberi tényezőn belül kiemelte, hogy a demográfiai előrejelzések szerint a lakosság átlagéletkora a fejlett országokban nő (35–40 év), míg a fejlődő országokban csökken (20–25 év), ami hosszú távon szintén új konfliktusokhoz vezethet.

A pravoszláv egyházat képviselő *Kirill*, szmolenszki metropolita hangsúlyozta, hogy a jövőkép kialakításának mindig a múlt tapasztalatainak elemzésén kell alapulnia. Sajnálatos, hogy míg a tudomány számára ez magától értetődő, addig nem így van a politika és a gazdaság terén, ezért Oroszországot – véleménye szerint – az elmúlt száz évben a tudatos rombolás jellemezte. A politikai és gazdasági radikalizmus csak hátráltatja a fejlődést. A tudósoknak pedig jobban figyelembe kell venniük a hagyományos emberi értéket és ügyelni kell arra, hogy az eredmények ne hogy „rossz kezekbe” kerüljenek.

*Genagyij Szeleznyov*, az Állami Duma szövívoje felszólalásában az állam strukturális fejlődésére helyezte a fő hangsúlyt, melynek hatékonysága jelenleg a különböző egyensúlyi problémák (állam ↔ elnök, központ ↔ régiók, hatalmi szintek stb.) miatt alacsony. A tudomány terén az állam fő feladata az új, működőképes finanszírozási formák kialakítása, mivel a piaci körülmények egyelőre nem biztosítják a tudomány fejlődését. A tudomány fő problémáját pedig abban látja, hogy nem hasznosulnak a tudományos eredmények.

*Mihail Kirpicsnyikov* tudományos és technológiai miniszter elsősorban a tudományos fejlődés veszélyeire hívta fel a

figyelmet. Egyrészt sok olyan tudományos eredmény született, mely illetéktelen kezekbe kerülve veszélyt okozhat, másrészt ma már képesek vagyunk olyan feladatok technikai megoldására, amelyekre morálisan nem vagyunk felkészülve. Az állami tudomány- és technológiapolitikáról szólva kiemelte, hogy annak fő célja a tudományos potenciál fejlesztése, ezen belül is az alap kutatás támogatása, az infrastruktúra és személyi feltételek megőrzése. Korszerű innovációs politikára van szükség, melynek kapcsán a fő figyelem a társadalmi fejlődés elősegítésére irányul, de figyelembe kell venni a biztonságpolitikai kérdéseket is.

*Jevgenyij Adamov* atomenergetikai miniszter az atomenergetika továbbfejlesztése mellett szállt síkra, mivel a fosszilis energiaforrások készlete behatárolt, ami hosszú távon konfliktusokhoz vezethet, de felhívta a figyelmet az atom-terrorizmus veszélyeire is. Hangsúlyozta, hogy a jövőben megszüntethető és megszüntetendő az atomenergetikai ipar és az atomfegyvergyártás összekapcsolódása. Az atomipar továbbfejlesztése terén a jövőben kiemelt figyelmet kell fordítani az izotópok gyártására, mivel azok piaca az USA-ban már ma közel háromszorosa az atomenergetikai piacnak.

*Vlagyimir Filippov* oktatásügyi miniszter három fő tényezőre hívta fel a figyelmet: akceleráció, globalizáció, valamint az információs és telekommunikációs technológiák térnyerése, amelyek gyökeresen megváltoztatták az oktatási rendszert. Elmondta, hogy most készül az ország 2025-ig érvényes oktatásfejlesztési doktrínája, ami azért is kiemelt fontosságú, mert jelenleg 39 millió ember, a lakosság egynegyede érintett közvetlenül valamilyen formában az oktatási rendszerben. Ez oktatással, de az egész ország problémáinak megoldásával kapcsolatban is megkérdezte, hogy ha minden háttérbe szorul a gazdasági bajok orvoslása mellett, akkor vajon mitől indul majd el a gazdasági fejlődés. Ezért figyelembe kell venni a „nem gazdasági jellegű” erőforrásokat is. Felhívta a figyelmet a negatív demográfiai változásokra, melyek következtében hamarosan több lesz a felsőoktatási hely, mint a végzős középiskolás.

A konferencia záróaktusaként a résztvevők *deklarációt* fogadtak el, melyben hitet tettek amellett, hogy Oroszország lakossága – kihasználva az intellektuális, tudományos, termelési és természeti erőforrásokat – leküzdí az előtte álló nehézségeket és rátér a fejlődés útjára. Ehhez azonban az államnak és az egész társadalomnak sürgősen erőfeszítéseket kell tennie az alábbi feladatok megoldása érdekében:

- Oroszország hosszú távú fejlesztési stratégiájának kidolgozása a poszt-indusztriális (információs) társadalom megteremtése érdekében;
- polgári társadalom kialakítása és a polgárok aktív részvétele a stratégiai döntések meghozatalában;
- a nemzeti gazdagság hatékony és takarékos kihasználása, illetve felhalmozása;
- prioritás az életminőség javításával kapcsolatos területek – tudomány, egészségügy, oktatás, kultúra – fejlesztésének;
- az orosz műszaki-tudományos potenciálon alapuló versenyképes hazai termékek kibocsátásának kiszélesítése;
- a hazai vállalkozói környezet fejlődési feltételeinek biztosítása megfelelő jogi szabályozással, beleértve a hatékony működést biztosító pénzügyi rendszert is.

*Jakab András*

## Nyereség veszteséges játékokból

*Nature*, 1999. szeptember 2.  
és december 23/30, *New York Times Science*, 2000. január 25.

*Juan Parrondo* spanyol matematikus új játékelméleti paradoxont fedezett fel tavaly. Felismerése megdöbbentő: kétféle, külön-külön veszteséggel járó játék együttesen nyereséghez vezet, ha váltakozva játsszák a kétféle játékot. A Parrondo-paradoxon néhány hónap alatt új gondolatokat indított el, alkalmazásra lelt a genetikában, az

evolúciós biológiában és a befektetési portfóliók kezelésénél.

D. Abbott ausztrál professzor hamis pénzérmékkel való játékokkal illusztrálta a paradoxont. A pénzérmék súlypontját különböző mértékben áthelyezték, a feldobott hamis pénz nagyobb valószínűséggel esik a egyik oldalára, mint a másikra. (A matematikai részletek iránt nem érdeklődő olvasó ezt a bekezdést átugorva, a következő bekezdéssel folytathatja.) Az  $A$  játékban az 1. számú érmevel a nyeresé  $p_1$  valószínűsége legyen 50%-nál kevesebb, tehát a játékos hosszú távon veszít. Legyen  $p_1 = 1/2 - \varepsilon$ , ahol az  $\varepsilon$  küszöbérték tetszőlegesen kis szám lehet, válasszuk 0,0005-nek. A  $B$  játékhoz két érme szükséges. A szabály a következő: a 2. érmevel játszunk, ha a tőkénk  $M$  egész szám többszöröse és a 3. érmevel játszunk, ha ez a feltétel nem teljesül.  $M$  értéke közömbös, az egyszerűség kedvéért válasszuk 3-nak. Belátható, hogy átlagban a 3. érme jóval többször lesz játékban, mint a 2. érme. Ha a 2. érmehez alacsony, 10%-nál kisebb nyeresési valószínűséget rendelünk ( $p_2 = 1/10 - \varepsilon$ ), akkor ez lerontja a 3. számú érmevel elérhető eredményt ( $p_3 = 3/4 - \varepsilon$ ), tehát összességében a  $B$  típusú játék is veszteséges.

Amennyiben csak az egyik, akár az  $A$ , akár a  $B$  játékot játsszuk folyamatosan, egyértelmű, hogy lassan és biztosan elveszítjük a pénzünket, tőkénk egyre csökken. A példában választott számértékekkel számolva 100  $A$  játék után 0-ról kb. -1-re csökken a tőke, 100  $B$  játék után pedig kb. -1,3-re. Ha viszont két  $A$  játék után játszunk két  $B$  játékot, majd újra két  $A$ -t és így folytatjuk tovább, akkor a tőke növekedni fog, igazolódik a Parrondo-paradoxon. Száz játék után 0-ról indulva kb. +1,3 nyereséghez jutunk. Meglepő módon ugyanez az eredmény úgy is elérhető, hogy az  $A$  és  $B$  játék nem szabályosan, periodikusan, hanem véletlenszerűen váltakozik. Abbott példája csak a paradoxon illusztrálására szolgál, a felismerést kellő matematikai szigorúsággal általánosan is igazolták.

A paradoxon játékok helyett lejtőn való mozgással is szemlélhető. Parrondo tulajdonképpen ilyen problémákon töprengve ismerte fel a ma már a nevét viselő parado-

xont. Az egyérmés  $A$  játék a sima felszínű lejtőnek felel meg, az érmére fogadva csak veszíteni lehet, a lejtőről pedig mindig lecsúszik a tárgy. A kétérmés  $B$  játék fűrészfogazott lejtőhöz hasonló, a fűrészfogak aszimmetrikusak, a tárgy ezen a felületen is lefelé mozog. Képzeljünk el egy olyan lejtőt, amely sűrű egymásutánban változtatja a felszínét, egyszer lapos, majd átmegy fogazottba, majd újra kisimul. A lejtő teljes felszíne hol egyik, hol a másik kiképzést veszi fel. Ha jól választjuk meg a fűrészfogak aszimmetriáját, akkor a tárgy felfelé fog haladni a felszínét változtató lejtőn!

Közgazdászok a befektetések menedzselésének nyerő stratégiáját remélik megtalálni a Parrondo-paradoxon alkalmazásával. A fizikai kutatásokkal foglalkozó amerikai Brookhaven Nemzeti Laboratóriumban *Sergei Maslov* fizikus számításai fantasztikus eredményhez vezettek: a tőkét két veszteséges portfólió között megosztva is lehet nyerni. A modell egyelőre túl bonyolult ahhoz, hogy valódi tőzsdén is kipróbálhassák.

A paradoxon a véletlen zajokkal kapcsolatos. A hetvenes években vált nyilvánvalóvá, hogy a zajoknak, a véletlen ingadozások nem csak negatív szerepe van, mint az áramkörben hőmérsékleti hatásra fellépő zajnak. Felismerték, hogy nemlineáris rendszerekben a gyenge periodikus jelet zaj hozzákeverésével fel lehet erősíteni. Ha a rendszerben megfelelő aszimmetria van, akkor a zaj hatására például nettó részcsekeáramlás léphet fel. Ilyen jelenség húzódhat meg a makromolekulák élő sejteken belüli áramlása mögött. A sima és fogazott lejtő mintájára a makromolekula is kétféle váltakozó hatásnak lehet kitéve: potenciális energiája változatlan (lapos görbe) vagy fűrészfogszerűen változik. Ha a rendszer a lapos és a fűrészfogas potenciál között oda-vissza ingadozik, akkor a részcseke határozottan az egyik irányba mozdul el.

A játék, a makromolekulák mozgása vagy a befektetések értékének ingadozása egyetlen közös tulajdonsággal jellemezhető: különleges, szabálytalan ingadozások lépnek fel.

Jéki László