



## Jánosi Imre Miklós

■ NKE Víz tudományi Kar, Víz-és Környezetpolitikai Tanszék

# Fizikai Nobel-díjak, 2021

A tudományos közélet évente meghatározó eseménye a Nobel-díjak nyertesinek őszi kihirdetése. A nagy titokzatoskodással kezelt jelölési eljárást követő hivatalos bejelentéseket mindig is élénk figyelem kíséri: ha a „Nobel Prize Physics 2021” kulcsszavakra rákeresünk az interneten, kb. 800 000 találatot kapunk. A rövid sajtótudósítások megfogalmazói egyébként gyakran zavarban lehetnek, ha gyorsan és tömören kell a tudományos eredményről összefoglalót írni, például az idei kémiai díjazottak (Benjamin List és David MacMillan) kutatási területe bizonyos molekulák irányított tervezését lehetővé tévő organokatalízis. Magam is érdeklődve fogom elolvasni az e számban megjelenő magyarázatot, mert természetesen fogalmam sincs a témaköréről.

A fizikai díjazottak esetén is elég homályos a sommás leírás. A hivatalos közlemény szerint a 2021-es fizikai Nobel-díjat „az összetett rendszerek megértéséhez nyújtott úttörő hozzájárulásért” ítélték oda. Egyik felét Syukuro Manabe és Klaus



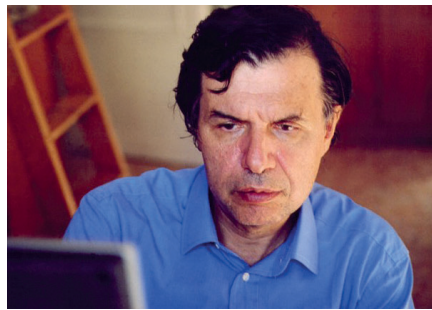
**Syukuro Manabe**

(fotó: Bengt Nyman, CC BY-SA 2.0)

**Klaus Hasselmann** (fotó: ESA)



Hasselmann „a Föld éghajlatának fizikai modellezéséért, a változékonyság számszerűsítéséért és a globális felmelegedés megbízható előrejelzéséért” kapta közösen. A díj másik felét Giorgio Parisinak „a fizikai



**Giorgio Parisi**

(fotó: Lorenza Parisi, CC BY-SA 4.0)

rendszerekben az atomtól a bolygóléptéig terjedő rendezetlenség és fluktuáció kölcsönhatásának felfedezéséért” ítélték oda [1]. Sokkal egyszerűbb megfogalmazások is nagy számban találhatóak, ezek szerint mindhárman a Föld klímája és a globális klímaváltozás megértéséhez járultak hozzá úttörő munkásságukkal – ez azért már igen távol áll a valóságtól.

A három tudós életrajza a Wikipédia-oldalaktól az intézetek saját honlapjaiig számtalan helyen olvasható, ezért ezeket megismételni nem tartom szükségesnek. Azért az érdekesebb tényeket érdemes összefoglalni az egyszerűség kedvéért. Mindhárom díjazott gazdag és eredményes életutat tudhat maga mögött, amelyben jelentős szerepet játszott a világ legjobb egyetemén és kutatóintézeteiben eltöltött rövidebb-hosszabb vendégeskedés, és a világ legismertebb vezető tudósaival való együttműködés. Ez gyakorlatilag elkerülhetetlen „belépő” egy Nobel-díj elnyeréséhez, a munkásság világszintű megismertetéséhez, elismertségéhez. 1901-es megalapítása óta fizikából 115 alkalommal díjaztak 219 nyertest. (A szabályzat szerint nem „kötelező” évente díjat kiadni, amennyiben nem talál a testület elég kiemelkedő eredményt; ez a fizikában hatszor fordult elő [2].)

Klaus Hasselmann (90) és Syukuro Manabe (90) életútja igen jól dokumentált,

köszönhetően az AIP (American Institute of Physics) „Oral History Interviews” archívumának [3, 4]. Biztosan születnek majd Parisi-interjúk is, de fiatal kora miatt (73 éves) erre még nem került sor.

Klaus Hasselmann gyerekkorát Angliában töltötte, családjával emigráltak oda még 1934-ben, amikor hároméves volt. Így az iskolaéveit is ott töltötte, és első élményét a fizikával – mi más lehetett volna – egy detektoros rádió szerezte. Felsőfokú tanulmányait már Hamburgban kezdte a háború utáni időkben, ami két dolog miatt is nehéz időszak volt a számára, saját bevallása szerint. A kis kertés, barátságos angliai városka helyett családjának a rommá bombázott Hamburgban kellett újra lábra állnia, neki pedig a liberális brit iskola-rendszerből vissza kellett szoknia a porosz német oktatásba. Diplomamunkája az izotróp turbulencia elméletével állt kapcsolatban, és mint annyi fiatal „titán”, ő is azt remélte, hogy a „nagy áttörés” felé döntő lépéseket tesz majd. (A folyadékok Navier–Stokes-mozgásegyenletét a 19. század első felében sikerült felírni, ám a komplett matematikai megoldása – különös tekintettel a turbulenciára – mind a mai napig olyannyira ismeretlen, hogy egyike a Clay Matematikai Intézet által felsorolt hét Millenniumi problémának. Ezek teljes megoldása egyenként 1 millió dolláros díjjal kecsegtet [5].)

Hasselmann később praktikusabb problémák felé fordult. Szakmai indulása egyébként nem volt konfliktusoktól mentes. PhD-fokozatát ugyan két év alatt megszerzte, de elég gyenge minősítést kapott rá, mert a kitűzött probléma megoldására más utat választott, mint amit a témavezetője javasolt. Munkásságának egyik fele óceánfelszíni hullámok generálásához, terjedéséhez, kölcsönhatásaihoz és energetikájához kapcsolódott. A hírneves Scripps Oceanográfiai Intézetben (San Diego, Kalifornia) eltöltött öt év alatt a hullámtan nemzetközi hírű szakértőjévé nőtte ki magát egy sor publikációjával. Ezután családi okokból visszaköltözött Németországba (felesége és gyermekei sem igazán érezték jól magukat az USA-ban), ahol néhány év után,



1975-ben alapító igazgatója lett a hamburgi Max Planck Meteorológiai Intézetnek (egészen 1999-ig ezt a vezető pozíciót töltötte be). Ebben az időszakban már nagyon sok témával foglalkozott az oceanográfia mellett, többek között az időjárás és a klíma, a klímaváltozás, az antropogén hatás azonosítása, még később kvantumtérelmélet, elemi részecskék fizikája és az általános relativitáselmélet is felbukkant az érdeklődési körében. Vajon mi lehet a közös pont ebben a változatos listában? Nos, Hasselmann saját megfogalmazása szerint a hullámok nemlineáris kölcsönhatásaival olyan sokat foglalkozott, és olyan matematikai mélységben, hogy a módszertant és a szemléletmódot az óceán felszínétől számtalan más területre lehetett kiterjeszteni.

A Nobel-díj Bizottság méltatása szerint Hasselmann két alapvető (egyszerűsítő) publikációja jelképezi azt az áttörő eredményt, amellyel hozzájárult a klímatudományhoz. Az első a sztochasztikus klímamodellek matematikai alapvetéséről szól [6], íráskor Hasselmann 45 éves volt. Természetesen ez a munka nem előzmények nélküli, PhD-hallgatóival együtt számos korábbi cikket jelentettek meg a témában (a sok független publikáció mellett), ez tekinthető viszont a koncepció letisztázásának. Hasselmann véleménye szerint alig valaki olvasta ezt a dolgozatot, mégis rengetegen hivatkozták. Lényege talán úgy foglалható össze, hogy a klímarendszer két változó halmazal jellemezhető, az egyik egy „gyors” (időjárás), a másik egy „lassú” (klímaparaméterek). Csatolásuk sztochasztikus differenciálegyenlet-rendszerrel írható le (szakértőknek: Fokker–Planck-egyenlet). A megoldás viselkedésének sajátossága,

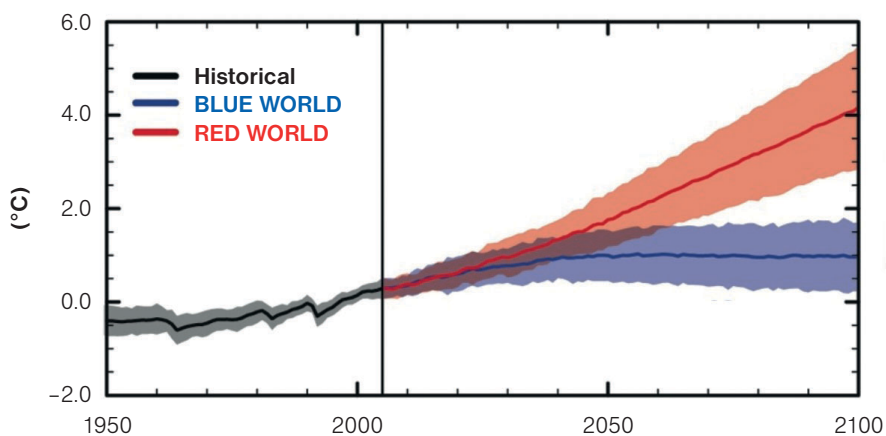
hogy a klíma-paraméterek lassú eltolódásához nem szükséges a külső kényszerek (pl. a Naptól érkező sugárzás) változása, a belső gyors fluktuációk önmagukban képesek a „klímaváltozás” létrehozására. Ennek a szemléletnek egyik korlátja az időskálák szeparációjának kérdése. Az időjárás gyorsan változik, az éghajlati paraméterek (hosszú idejű átlagok) lassan, de az adatokon nemigen látszik ez a szétválás. A klímarendszer lényeges (ha nem meghatározó) eleme a világóceán, amelyben a lassú függőleges keverés (a „Nagy óceáni szállítószalag”) önmagában egy több száz, ezeréves időskálán változó komponenst jelent. Mielőtt még a klímaváltozás antropogén hozzájárulásában kételkedők örvendezni kezdenének, érdemes elolvasni a második méltatott cikket [7], bár a megfogalmazása kökemény matematika. Az „ujjlenyomat” (fingerprint) koncepció letisztulásakor Hasselmann már a hatvanas éveiben járt, és ekkoriban már fejlett, nagy felbontású csatolt óceán–légtér numerikus modellek (melyek megalapozásához a másik díjazott, Syukuro Manabe járult hozzá döntő mértékben) széles körben álltak rendelkezésre. Az ujjlenyomat-stratégia lényege, hogy statisztikai módszerekkel kiértékelhető a modellek által előre jelzett és az észlelt mintázatok egyezése, illetve eltérése különböző klimatikus paraméterek és változók esetére. Az egyik legismertebb illusztráció a globális átlaghőmérséklet alakulása antropogén hozzájárulással, illetve anélkül (**1. ábra**). A modellek által előre jelzett mintázat eltérő paraméterek (pl. CO<sub>2</sub>-koncentráció) esetén időben (és térben) másképpen alakul, azonos belső változékonyság mellett. A mérésekkel történő összehason-

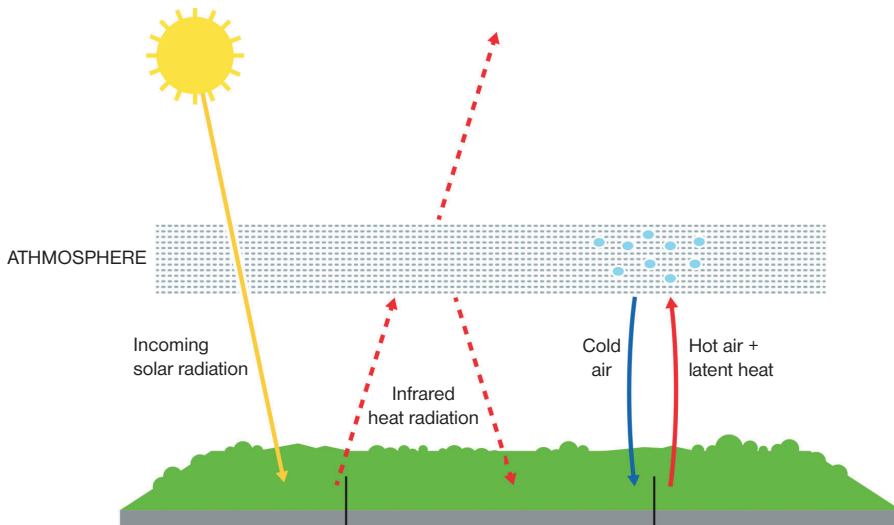
lítás alapján módunk van annak becslésére, hogy mekkora (ha van) az antropogén hozzájárulás a klíma-paraméterek eltolódásához. Az utolsó publikált IPCC-jelentés óta (2013) majdnem egy évtized telt el, különös tekintettel az abban felhasznált eredményekre, azóta a mérések a „Red World” szcenárió mentén alakulnak.

Ez utóbbi bekezdés különösen alkalmas átkötés a következő díjazott, Syukuro Manabe méltatásához. Ő is 1931-ben született Japán egyik kis szigetének apró falujában, ahol édesapja és nagyapja is orvosként dolgozott a helyi közösséget. Kézenfekvő volt, hogy a legfiatalabb Manabe folytassa a családi hagyományt, ám a középiskolai évek során, illetve a Tokiói Egyetemen elkezdett tanulmányai első két évében fokozatosan elvesztette érdeklődését a biológia és az orvostudomány irányában. Ezzel párhuzamosan a fizika és a matematika vonzotta egyre nagyobb mértékben, úgyhogy váltott is, és geofizikai stúdiumokba kezdett. Végül meteorológusként végzett már a háború utáni években, de állást nem sikerült kapnia. Beszámolója szerint a háború években a hadsereg és a haditengerészet olyan nagy számban képezett meteorológusokat, hogy a békeidőben eleinte túl sokan voltak az álláshelyekhez képest [4]. Még doktori fokozatának megszerzése (1959) után sem sikerült elhelyezkednie. Gyakorlatilag az első adódó lehetőséget kihasználva elutazott az Egyesült Államokba, ahol az amerikai meteorológiai szolgálat kutatórészlegében dolgozott megszakitás nélkül egészen 1997-ig. Ezután négy évig Japánban igazgatta a klímaváltozást kutató intézeti hálózatot, de 2002-ben visszatért az Egyesült Államokba, a Princetoni Egyetemre.

Díjazott kutatási eredményeit még a hatvanas évek elejétől elkezdett munkája során érte el, sokat idézett cikkeinek túlnyomó részét negyvenéves kora előtt publikálta [pl. 8, 9]. Egyik fiatal kollégája a Princetoni egyetemi évekre visszaemlékezve (ekkor Manabe már hetven fölött járt) arról számolt be, hogy különösebben nem volt kollegiális-baráti légkör az intézetben, de azért különböző társaságokban együtt jártak ebédelni. Ezek során gyakran esett szó aktuális tudományos kérdésekről, és ha Manabe hozzászólt a témához, az indító mondata általában olyasmi volt, hogy „ja, ezt én megcsináltam 20–30–40 évvel ezelőtt”. (Ez meglehetősen irritáló viselkedés lehet, amit magam is megtapasztaltam legalább két neves külföldi tudós részéről. Egyikük annyira agresszív személyiség volt, hogy szakmai konferenciákon habozás nél-

1. ábra. A globális átlaghőmérsékleti anomália előre jelzett alakulása nagy felbontású csatolt óceán–légtér numerikus modellek segítségével, két modell-feltevés esetén. A piros görbe („Red World”) a jelenlegi ütemben növekvő, míg a kék („Blue World”) a kétezres évek után stagnáló CO<sub>2</sub>-szintekre vonatkozik. A 2005 előtti időszak a történelmi („Historical”) idősorokra vonatkozik, ami a modellek kalibrációs tesztje is egyben (forrás: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>)





**2. ábra.** Manabe és Wetherald klímamodelljének vázlatja. A fő komponensek: a Naptól érkező sugárzás (a látható tartományban a légkör jobbára átlátszó), a felszínről kibocsájtott hőmérsékleti sugárzás (infravörös tartományban a légkör jó elnyelő), a légkörből lefelé és az űrbe történő infravörös sugárzás, valamint a látens hő transzportja a víz párolgása és magasabb légköri kicsapódása során  
(forrás: Johan Jarnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences)

kül félbeszakított bármilyen előadást hangozó közbeszólásokkal, ha úgy vélte, hogy a téma már „lerágott csont”, hiszen ezt ő ekkor-meg-akkor már rég publikálta.) Nem csoda, hogy Manabe ifjú kollégája hasonló módon nehezen viselte ezeket a megjegyzéseket, úgyhogy egy alkalommal vette a fáradságot, és utánament az állításoknak. Legnagyobb meglepetésére kiderült, hogy Manabe a szóba került problémákat 20–30–40 évvel korábban tényleg megoldotta...

A hatvanas években kidolgozott numerikus légköri modellek valóban jelentős lépést jelentettek a mai komplex, nagy felbontású programok kifejlesztéséhez. A kiinduló modell vázlatát illusztrálja a **2. ábra**, az elrendezés igen leegyszerűsítve mutatja be az ún. radiatív-konvektív egyensúly kialakításához szükséges komponenseket. Manabe és Wetherald [9] a teljes légkört egydimenziós oszlopként kezelte, a relatív páratartalom és az üvegházhatású gázok koncentrációjának adott magassági profiljaival. (Közbevetve megjegyezzük, hogy Manabe fő szerzőtársa, Richard T. Wetherald 2011-ben, 75 éves korában elhunyt, és Nobel-díjat csak élő személy kaphat). Az atmoszférikus oszlop állapotjelzői első lépésben egy kezdeti állapotból sugárzási átvitel (radiatív transzfer) útján érnek el stacionárius eloszlást, amelyet az üvegházhatású gázok (legfontosabb a vízgőz) abszorpciók spektrumai alapján számítanak ki. Ha kizárólag a sugárzási átvitelt vesszük figyelembe, akkor a hőmérsékleti gradiens (lapse rate) a troposzférában  $-15\text{ °C/km}$  érték körül alakul, ami

sokkal meredekebb a megfigyeltnél. Második lépésben a konvektív korrekció következik, amely figyelembe veszi a meleg nedves feláramlást követő fázisátalakulást a magasabb rétegekben, ami látens hő felszabadulásával jár együtt (**2. ábra** jobb szélén). Ekkor a „nedves” függőleges hőmérsékleti gradiens a tapasztalati értékhez közelebbi,  $-6\text{ °C/km}$  értékre áll be. A számítások gyakorlati részletei bonyolultabbak, ugyanis a vertikális fel- és leáramlást ez a modellcsalád nem reprezentálja áramlástanilag. Helyettesítésére a „convective adjustment” nevű korrekciós eljárás szolgál, ami egy kialakuló adiabatikusan instabil hőmérsékleti profil visszaigazítását jelenti.

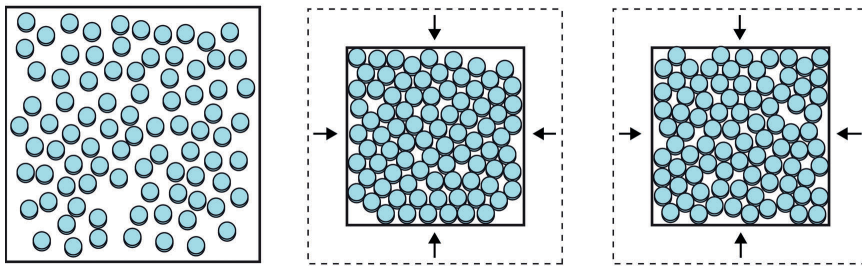
Manabe és Wetherald két lényeges módosítása a korábbi modellekhez (pl. [8]) képest, hogy az abszolút páratartalom helyett a relatív páratartalmat vették figyelembe, valamint a radiatív transzfer spektrális számítása során a vízpára mellett a többi üvegházgázt is beépítették. Mindezek eredményeképpen először határozták meg a „klímaérzékenység” nagyságrendjét, ami a  $\text{CO}_2$ -koncentráció duplázódása esetén  $2,3\text{ °C}$  globális felszíni átlaghőmérséklet-eltolódást eredményezett (lásd a címlapot). A modern globálisan csatolt óceán-atmoszféra numerikus modellek (Manabe és munkatársai munkáiból kiindulva, fél évszázadnyi fejlesztést követően) ugyanezt a klímaérzékenységet a  $2,5\text{--}4\text{ °C}$  tartományban becsülik. Egyébként a numerikus modellek klímaprojekciói a 2100-as évre lényegében nem változtak évtizedek óta,

sem a várható globális átlaghőmérséklet-, sem a globális tengerszint-emelkedés tekintetében. Ez azt jelenti, hogy bár a modellek komplexitása folyamatosan nő, a rácsfelbontásuk finomodik, egyre nagyobb szuperszámítógépes kapacitásokat használnak fel, a lényeges (és jól értett) fizikát már a hatvanas években ismerték.

A névsorban harmadik, Giorgio Parisi munkásságának és díjazott eredményeinek az ismertetése a legkeményebb dió. A Nobel-díj Bizottság megfogalmazása szerint 1980 körül Parisi „rejtett mintázatokat fedezett fel rendezetlen komplex anyagokban”. Ezek megértését és leírását nemcsak a látszólag teljesen rendezetlen anyagokra, hanem más területekre is sikeresen terjesztették ki kezdve a matematikától – a biológián, neurológián keresztül – egészen a gépi tanulásig.

Giorgio Parisi 1948-ban született Rómában. Hosszas keresgélés után sem deríthető ki túl sok fiatalkoráról, következő dokumentált életrajzi adata szerint 1970-ben a római La Sapienza Egyetemen szerzett diplomát a nagyenergiájú részecskefizika területén (azt persze el kell ismernem, hogy nyelvtudás hiányában az olasz forrásokat nemigen tudtam átnézni). Nála sem maradtak el a vendégkutatói „kirándulások” (1973–74: Columbia Egyetem, 1976–77: Institut des Hautes Études Scientifiques, 1977–78: École Normale Supérieure), de az általában Nobel-díjjal kitüntetett tudósokhoz képest sokkal rövidebb ideig dolgozott külföldön, különösen az Egyesült Államokban. 1981 és 1992 között a Tor Vergata Egyetem, 1992-től mind a mai napig a La Sapienza Egyetem professzora (mindkettő Rómában). Tucatnyinál több neves kitüntetés mellett említésre méltó a fizikai Wolf-díj 2021-es elnyerése, ugyanis a Wolf-díjat gyakran (joggal) a Nobel-díj „előszobájának” titulálják.

Elmondása szerint szereti Olaszországot, Rómát, és mindig kitűnő mentorokkal és kollégákkal dolgozhatott együtt. Családjáról szükséztlenül szokott nyilatkozni, egy érdekes apróság a *Tiranapost* albán portálon megjelent, díjátadást követő interjúból azért kiderül: ötszáznál több tudományos cikke és hét szakkönyve mellett gyermekmeséket is írt, amiket kezdetben két gyermekének, mostanában négyéves unokaöccsének szokott felolvasni. Újabb érdekes adalék, hogy szerénysége és visszafogottsága mellett nem áll tőle teljesen távol a „politikai aktivizmus”. Még 2008-ban történt, hogy 66 oktatótársával együtt tiltakozó levelet írt az ellen, hogy a La Sapienza Egyetem vezetése meghívta XVI.



3. ábra. Minden alkalommal, amikor sok egyforma korongot véletlen kezdő elrendezésből összenyomnak, egy új szabálytalan minta (üvegállapot) alakul ki annak ellenére, hogy pontosan ugyanúgy nyomják össze őket. Mi szabályozza az eredményt?

Giorgio Parisi felfedezett egy rejtett struktúrát az ilyen összetett rendezetlen rendszerekben, és megtalálta a módját ezek matematikai leírásának

(forrás: Johan Jarnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences)

Benedek pápát a tanévnyitó előadás megtartására. Három nap kampányolás után az egyetem lemondta a pápai meghívást. „Vallásos személyiség – legyen az akár rabbi vagy imám – nem megfelelő választás egy nem vallásos intézmény évnnyitójának megtartására” – nyilatkozta 2012-ben a *PhysicsWorld* magazinnak. Emellett többször élesen bírálta Silvio Berlusconi tudománypolitikáját, amely valójában durva pénzügyi elvonásokat jelentett, pedig akkoriban a gazdaság jól prosperált. Véleménye szerint ennek közvetlen következménye, hogy nagyon sok fiatal tudóspalánta kényszerült külföldre.

Térjünk vissza a rendezetlen rendszerekre. Nagyjából Parisi diplomája megszerzésének idejében, a hetvenes évek elején bukkant fel a „spinüveg” fogalma a szakirodalomban. A spinüvegek olyan rendezetlen anyagi rendszerek, amelyekben mágneses atomok (pl. Fe) véletlenszerűen keverednek nem mágneses atomokkal (pl. Cu). Egy ilyen rendszerben nagyon sok „frusztrált” kölcsönhatás lép fel, amit könnyű megérteni. Rendezzünk el három elemi mágneset egy egyenlő oldalú háromszög sarkaiban. A rendszer energiaminimuma olyan állapot lenne, amikor minden mágnes azonos irányban áll. Ám ha két sarokpontban a mágneseket „befagyaszjtjuk” elentétes irányban, a harmadik mágnes irányultsága frusztrált, azaz állhat az egyikkel vagy a másikkal párhuzamosan, azonos energiájú állapotokat, de más konfigurációt létrehozva. Ráadásul, ha az elemi mágnesek egy ötvözetrácsban véletlenszerűen helyezkednek el, akkor a frusztrált kölcsönhatások erőssége is rendezetlen eloszlású, tovább komplikálva a képet. A mágneses fázisátalakulás során (a kritikus hőmérséklet fölé történő felmelegítést követő hűtéskor) más és más konfiguráció alakulhat ki. Ennél is bonyolultabb a helyzet, ha a rácsban ferromágneses és antifer-

romágneses csatolású atomok helyezkednek el. Egyszerűbben szemlélteti a rendezetlenség következményét a 3. ábra. Egyforma korongok véletlenszerű kezdő állapotból kiinduló összenyomásának az eredménye más és más végső konfiguráció (replikáció) lesz ismételt kísérletek esetén. Laboratóriumban ezt pl. fémolvadékok nagyon gyors hűtésével lehet demonstrálni, a végállapot az ún. fémüveg, egy rendkívül hosszú élettartamú metastabil állapot. Hogyan lehet az ilyen rendszereket egyáltalán egyszerűsített módon leírni? Parisi két jelentős felismerése áttörést jelentett a kérdésben [10, 11].

Az első szerint a spinüvegek „rendezett” végállapotainak száma végtelen (kritikus pont alatti hőmérsékleten). Ennek jellemzésére Parisi bevezetett egy rendparamétert, ami a replikák átfedésének (hasonlóságának) a mérőszáma. A spinüveg-állapotban nincs egyértelmű, minimumenergiájú állapot, ami egy átlagtér-megoldásból adódna (szemben egy ferromágneses rendszerrel, ahol az összes spin vagy „felé”, vagy „lefele” irányított). Innentől a matematika rendkívül elbonyolódik, ilyen fogalmak bukkannak fel, mint az „ultrametri-kusság”, „replika-szimmetriasértés”, „sztochasztikus kvantumtérelmélet”, „turbulens intermittencia”, „véletlen mátrixok”... A lényeg annyi, hogy a leírás módszertanát fizikai és egyéb modellrendszerek rendkívül széles osztályaira sikerült kiterjeszteni, nem csoda, hogy Parisi munkái kilencvenezernél több hivatkozást értek el.

Végezetül talán érdemes megemlíteni pár magyar vonatkozást a díjazottak munkásságával kapcsolatban. Először is a mélyebb részletek iránt érdeklődő olvasók sokkal autentikusabb szakmai leírásokat olvashatnak két friss cikkben, amelyek a *Fizikai Szemle* novemberi számában jelentek meg Kondor Imre [12], illetve Weidinger Tamás és szerzőtársai tollából [13]. Kon-

dor Imre (az ELTE TTK Elméleti Fizikai Tanszék nyugállományú professzora és a Corvinus Egyetem professor emeritusa) személyesen is nagyon jól ismeri Giorgio Parisit és munkásságát hosszú évek óta, hasonló témákban neki is jelentős eredményei vannak, bár együtt éppen nem publikáltak. Viszont Kondor professzor egyik tanítványa, Temesvári Tamás, az MTA–ELTE Elméleti Fizikai Kutatócsoport munkatársa szerencsésebb volt, még 2012-ben közölték (ketten Parisivel) egy jelentős cikket [14]. A klímakutató kollégák közül Klaus Hasselmann-nak nincs közös cikke magyar kollégákkal, de már csak a földrajzi közelség miatt is intézetével, a hamburgi Meteorológiai Max Planck Intézetrel számos magyar kutató került aktív kapcsolatba (és futólag találkozott Hasselmannnal). Tél Tamás (az ELTE TTK Elméleti Fizikai Tanszék professzora) és fiatal munkatársai több alkalommal látogatást tettek Hamburgban, és ha nem is magával a főigazgatóval közösen, de a témakörben fontos publikációk születtek [15, 16]. Elnézést kell kérnem azoktól a magyar kollégáktól, akik esetleg Syukuro Manabe személyes ismerősei, de korlátozott ismereteim miatt nem említettem őket.

#### IRODALOM

- [1] <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2021/summary/>
- [2] <https://www.nobelprize.org/prizes/facts/nobel-prize-facts/>
- [3] <https://www.aip.org/history-programs/niels-bohr-library/oral-histories/33645>
- [4] <https://www.aip.org/history-programs/niels-bohr-library/oral-histories/32158-1>
- [5] <https://www.claymath.org/millennium-problems/navier-stokes-equation>
- [6] Hasselmann, Klaus, *Tellus* (1976) 28(6), 473–485. doi:10.3402/tellusa.v28i6.11316
- [7] Hasselmann, Klaus, *Journal of Climate* (1993) 6(10), 1957–1971. doi:10.1175/1520-0442(1993)006<03C1957:OFFTDO%3E2.0.CO;2
- [8] Manabe, Syukuro; Smagorinsky, Joseph; Strickler, Robert E, *Monthly Weather Review* (1965) 93(12), 769–798. doi:10.1175/1520-0493(1965)093<0769:scoagc>2.3.co;2
- [9] Manabe, Syukuro; Wetherald, R Richard T, *Journal of the Atmospheric Sciences* (1967) 24, 241–259. doi:10.1175/1520-0469(1967)024<0241:TEOTAW>2.0.CO;2
- [10] Parisi, Giorgio, *Physical Review Letters*, (1979) 43, 1754–1757. doi:10.1103/PhysRevLett.43.1754
- [11] Parisi, Giorgio, "Toward a mean field theory for spin glasses." *Physics Letters A* (1979) 73, 203–205. doi:10.1016/0375-9601(79)90708-4
- [12] Kondor Imre, *Fizikai Szemle* (2021) november, 365–368. <http://fizikaiszemle.hu/szemle/98>
- [13] Weidinger Tamás, Pongrácz Rita, Tasnádi Péter, *Fizikai Szemle* (2021) november, 369–375. <http://fizikaiszemle.hu/szemle/98>
- [14] Parisi, Giorgio; Temesvári, Tamás, *Nuclear Physics B* (2012) 858, 293–316. doi:10.1016/J.NuclPhysB.2012.01.014
- [15] Drótos, Gábor; Bódai, Tamás; Tél, Tamás, *Journal of Climate* (2015) 28, 3275–3288. doi:10.1175/JCLI-D-14-00459.1
- [16] Herein, Máttyás; Márffy, János; Drótos, Gábor; Tél, Tamás, *Journal of Climate* (2016) 29, 259–272. doi:10.1175/JCLI-D-15-0353.1