nemrégiben jelent meg: „eddig nem is tudtam, hogy az egész magszerkezet csupa csoportelmélet” [26].

Az itt bemutatott szimmetriák mind egy családba tartoznak, Lie-csoportokkal írhatók le. Csábító volna megemlíteni néhány újabb szimmetriafajtát, ami szintén nagy jelentőségre tett szert (például szuperszimmetria, mértékszimmetria). Ezt azonban terjedelmi korlátok nem engedik meg, ezért pusztán a létük megemlítésére szorítkozunk.

Összegzésként megállapíthatjuk: furcsa betegsége a fizikának a sokat emlegetett csoportvész (a német és angol nyelvű szakirodalom egyenesen csoportpestisnek nevezte). Nem ártalmas, hanem ellenkezőleg: hasznára van. Ha már fertőzés, akkor leginkább talán a mitochondriumok történetére emlékeztet: az ősejtet (feltehetően) megtámadta egy baktérium, de a küzdelembe egyikük sem pusztult bele, hanem olyan szoros együttműködés alakult ki közöttük, hogy ma már nem tudnának egymás nélkül meglenni.

A jelen munka az (K112962 témaszámú) OTKA támogatásával készült.

Irodalom

[1] E.P.Wigner, Nobel Lecture 1963; Szimmetriák és reflexiók (ford: Györgyi G.) Gondolat Kiadó, Budapest,1972.

[2] E. P.Wigner, Gruppentheorie und Ihre Anwendung auf die Quantenmechanik der Atomspektren, Braunschweig, F. Vieweg und Sohn, 1931; Csoportelméleti módszer a kvantummechanikában (ford: Györgyi G, Sebestyén Á.) Akadémiai Kiadó, Budapest, 1979.

[3] E.P.Wigner, Ann. Math. 40, 149 (1939).

[4] Györgyi G, Fizikai Szemle 1968, 142; 1971, 205.

[5] Gyarmati B, magánközlés.

[6] W. Heisenberg, Z. Phys. 77, 1 (1932).

[7] E.P.Wigner, Phys. Rev. 51, 106 (1937).

[8] L. Eisenbud, G.T. Garvey, E.P. Wigner, Az atommag szerkezete (ford. Györgyi G.) Akadémiai Kiadó, Budapest, 1969.

[9 D.D. Warner, M.A. Bentley, P. van Isacker, Nature Phys. 2, 311 (2006).

[10] F. Gürsey, A. Pais, R.A. Radicati, Phys. Rev. Lett. 13, 299 (1964).

[11] L.A. Radicati, in Symmetry properties of nuclei, Proc 15th Solveay Conf. in Physiscs, 1970, Gordon and Beach Science Publisher, London, 113 (1971).

[12] J.P. Elliott, Proc. Roy. Soc. 245, 128; 562 (1958).

[13] F. Iachello, Phys. Rev. C 23, 2778 (1981).

[14] J. Cseh, Phys. Lett. B 281 (1992) 173; J. Cseh, G. Lévai, Ann. Phys. (NY) 230 (1994) 165.

[15] F. Iachello J. Cseh, G. Lévai, APH N.S. Heavy Ion Phys. 1, 91 (1995).

[16] Iachello F, Arima A, The Interacting Boson Model, Cambridge University Press, Cambridge, 1987.

[17] A. Arima, V. Gillet, J. Ginocchio, Phys. Rev. Lett. 25 1043 (1970).

[18] M. Harvey, Nucl. Phys. A 202, 191 (1973).

[19] J. Cseh, Phys. Lett. B 743, 213 (2015).

[20] K. Wildermuth, Th. Kanellopoulos, Nucl. Phys. 7, 150 (1958).

[21] B.F. Bayman, A. Bohr, Nucl. Phys. 9, 596 (1958/59).

[22] G. Rosensteel, D.J. Rowe, Phys. Rev. Lett. 38, 10 (1977).

[23] J. Cseh, J. Phys. Conf. Ser. 580, 012046 (2015).

[24] J. Cseh, Phys. Rev. C 50, 2240 (1994).

[25] J. Cseh, G. Riczu, Phys. Lett. B 757, 312 (2016).

[26] D.J. Rowe, J.L. Wood, Fundamentals of Nuclear Models, World Scientic Pub. Co., Singapore, 2010.

VARGA IMRE

A Wigner–Dyson-osztályozás és az Anderson-féle fém-szigetelő átmenet

Majdnem hatvan évvel ezelőtt jelent meg P.W. Anderson alapcikke, amiben azt állapította meg, hogy jól vezető anyagot létrehozó atomok rendezetlenség, szennyezettség jelenlétében, vagy amorf szerkezetben akár szigetelő tulajdonságot is mutathatnak. Vagyis egy olyan anyagban, ami ideális esetben, tehát tisztán és rácshibáktól mentesen nagyon jól vezeti az elektromos áramot és ennek megfelelően a hőt is, bizonyos mértékű szennyezettség, vagyis rendezetlenség esetén egyáltalán nem vezetik az áramot.

Sokáig az volt az elképzelés, hogy a rendezetlenség növelésével a vezetési képesség folyamatosan csökken. De ebben a dolgozatban Anderson éppen arra mutatott rá, hogy a rendezetlenség egy bizonyos értéke felett a vezetőképesség hirtelen tűnik el, vagyis ez a rendszer hirtelen válik szigetelővé. Egy ilyen átalakulás drámai változás, és egyszerű, az eredeti rendszer tulajdonságát csak zavartkeltő módon, úgy mondjuk, hogy perturbatív módon kezelni nem is lehet. Ilyen esetben egy valóságos fázisátalakulás következhet be a rendezetlenség növekedésével. Ráadásul nem a szokásos hőmérséklet az, ami a fázisátalakulást mozdítja elő, ugyanis P.W. Anderson művében teljesen koherens kvantummechanikai rendszert tételezett fel, vagyis a hőmérséklet zérusnak tekinthető. Ezt a fázisátalakulást egyúttal a rendszerbeli elektronikus állapotok drasztikus változása is kíséri: a fémszerű fázisban főként a vezetésben részt vevő, a Fermi-energia közeli állapotok az egész anyagra kiterjedtek, vagyis az elektromos áram közvetítésére alkalmasak, még akkor is, ha a rendezetlenség hatására erre már igen rossz hatékonysággal képesek. A szigetelő fázisban az elektronok olyan állapotokban vannak, amelyek az anyag belsejében, néhány tucat vagy csak néhány rácshely, atom környezetében találhatóak, úgy mondjuk, hogy lokalizáltak. Ez utóbbi állapot a kisebb tartományban konstruktív interferencia révén marad *bezárva*, míg távolabbra a destruktív interferencia nem engedi *eljutni*. Úgy tűnik, hogy ez az ún. Anderson-lokalizáció, ami a rendezetlenség folyománya, egy tisztán kvantummechanikai jelenség. Klasszikus, szemi-klasszikus modellekkel nem lehet kielégítően leírni, így hát tisztán kvantummechanikai módszerekkel, a Schrödinger-egyenlet megoldásával, illetve a rendszert meghatározó és – időfüggetlen esetben – teljesen leíró Hamilton-operátor sajátérték-problémájának megoldásával lehet és kell értelmezni.

Az Anderson-féle átalakulást idővel sok rendszeren sikerült kísérletileg is kimutatni és igen sok fizikai folyamatban játszik lényeges szerepet. Ennek egyik legfőbb oka az, hogy az ideális kristályszerkezet vagy a teljesen tiszta, szennyezésmentes anyag igazából a kivételt képezi még akkor is, ha a legáltalánosabb, legprecízebb leírást éppen az ideális esetben tudunk adni. A rendezetlenség P.W. Anderson 1958-ban publikált tanulmánya óta igen sokfajta, de esetenként újfajta meggondolást, valószínűségi értelmezést tett szükségessé.

Nem is az a legfontosabb, honnan ered a rendezetlenség, milyen az egyedi megvalósulása. Még az is lényegtelen, hogy egyes minták, milyen viselkedést mutatnak, amikor a mérhető mennyiségek átlaga, szórása vagy akár teljes eloszlás függvénye univerzalitást mutat.

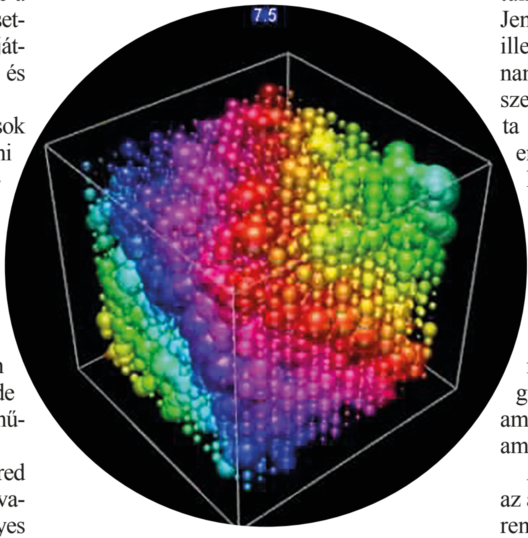
További lényeges vonása ennek a jelenségkörnek, hogy az átalakulás környezetében a rendszer méretével és más paramétereivel változó, ún. egy-paraméteres skálázás kap szerepet, ami ennek a fázisátalakulásnak a sajátja. Ez a skálázás arra utal, hogy a rendszerméret változtatásával a termodinamikai határesetben milyen viselkedést mutat a rendszer. Például háromdimenziós esetben, ha a szigetelő fázisban levő, L élhosszúságú kockát készítünk, akkor kétszer akkora élhosszúság mellett ’még inkább’ szigetelőt kapunk. Hasonlóan az L élhosszúságú, fémes fázisú rendszerből $2L$ élhosszúságút építve még inkább fémes tulajdonságú rendszert kapunk. Azonban éppen a kritikus pontban méretfüggetlen viselkedést láthatunk, amit skálafüggetlenségként is szoktunk jellemezni. A kritikus ponthoz közelítve mindkét oldalról egy hossz dimenziójú mennyiség, pl. lokalizációs hossz, vagy korrelációs hossz hatvány függvény szerint divergál és ennek a kitevője a fázisátalakulást jellemző fontos exponens.

Vannak kísérleti eredmények is de a numerikus és kísérleti exponensek eltérnek egymástól. A vezetőképesség mérésen alapuló kísérletek erre az említett kitevőre közelítőleg egyet adnak, míg a numerikus kísérletek, szimulációk még a Wigner–Dyson-osztályozástól függő értékre vezetnek, de egynél mindenképpen nagyobb.

De lássuk, mit jelent a Wigner–Dyson-féle osztályozás.

A véletlen mátrix elmélet

A véletlen mátrix elmélet egy olyan matematikai problémakör, amelyet – mint már oly sokszor – a fizika indított, fejlesztett és inspirált hosszú ideig. Nagyon sok alkalmazása van a számelmélettől, a prímszámok viselkedésétől a fekete lyukak véges entrópiájának értelmezésén át a gyalogosok egymáshoz viszonyított mozgásán, a parkoló gépjárművek közötti távolságokon, a tőzsdei részvények értékének fluktuációiban tapasztalható korrelációkon keresztül akár a rendezetlen rendszerek vezetési tulajdonságaiig, vagy a klasszikusan kaotikus mozgások kvantummechanikai viselkedéséig. Ez olyan matematikai formalizmus, ami többféle formában nagyon sok esetben előfordulhat.



Alapesetben minden olyan problémára alkalmazható, ahol lineáris egyenletek megoldásánál szerepet játszó mátrixok általános, globális tulajdonságai, szimmetriái már a konkrét mátrixelemek ismerete nélkül is bizonyos előzetesen ismert, univerzalitást eredményeznek. Wigner például 1955-ben, tehát P.W. Anderson lokalizációval kapcsolatos munkájával körülbelül egyidőben vezette be ezt a matematikai statisztikai módszert olyan nagyon bonyolult fizikai kísérletek értelmezésére, amiknél már akár a mátrixelemek kiszámítása, meghatározása is problémát jelentett.

Wigner Jenő nehéz atommagok neutron ütközése nyomán keletkező rezonanciákkal foglalkozott, ami természetesen további információkkal szolgált az atommagok belső tulajdonságairól. Wignerről bizonyosan tudni lehetett, hogy nem riadt vissza, ha valamilyen nehéz matematikai probléma került elé és megpróbálta megoldani. Ez esetben olyan kísérleti adatok elemzésébe fogott, ami újszerű hozzáállást tett szükségessé. A kísérletek szerint a nehéz atommagokban található számos nukleon (proton és neutron) kötött állapotát erősen „megrázó”, azzal ütköző neutron olyan bonyolult gerjesztett állapotot hozott létre, ami a korabeli számítási lehetőségekhez, illetve matematikai modellekhez viszonyítva is túlságosan összetettnek tűnt. Ezért Wigner Jenőnek az jutott eszébe, hogy az összetett, illetve komplex állapotokhoz tartozó rezonanciák energia szerinti eloszlását véletlenszerűnek tekintette és például meghatározta az egymást követő rezonanciák közötti energia távolságok eloszlását. Azt találta, hogy ezen energia különbségek előfordulási valószínűsége az energiakülönbséggel csökkent, bizonyos esetekben arányosan, de volt, hogy kvadratikusan. Vagyis a komplex magok energianívói mintha taszítanák egymást, nem tudnak tetszőlegesen közel kerülni egymáshoz. Persze a túlságosan nagy energiakülönbségek gyakorisága is alacsony, amivel egy olyan eloszlásfüggvény adódik, aminek egy púpja van.

A véletlen mátrix elmélet alkalmazása az atommagok és más, hasonlóan bonyolult rendszerek esetében is azon alapul, hogy a Hamilton-operátort, vagyis a teljes energiát leíró kvantummechanikai operátort olyan mátrixszal írjuk le, aminek egyes elemei véletlenszerűek és csak az adott rendszer általános szimmetriáit tükrözi. Ilyen szimmetria az időtükrözési szimmetria, illetve a spin-forgatási szimmetria. Mint később kiderült, még további globális szimmetriák is szerepet játszhatnak. Összesen tíz olyan osztálya van a lehetséges rendszereknek, amelyek valamilyen index alapján azonosíthatóak. A töltés konjugáció (részecske–antirészecske csere), a paritás (jobb–bal felcserélhetőség), illetve általában az időtükrözés az, ami ezeket az osztályokat megkülönbözteti. Azonban az esetek nagy többségénél még mindig a Wigner és Dyson által közösen meghatározott hármas csoport, a hármas út az, ami előfordul.

A Wigner–Dyson-féle három sokaság, csoport egy egész számmal jellemezhető, ami lényegében nem más, hogy hány darab valós szám szükséges például a Hamilton-operátort reprezentáló mátrix egy elemének leírásához. Vagyis ez a szám, amit Dyson-indexként is ismer az irodalom, éppen 1, ha minden mátrixelem valós, 2, ha komplex és 4, ha kvaternió. Az első és harmadik esetben az időtükrözés egy jó szimmetria, míg a másodikban a rendszer nem invariáns vele szemben. A harmadik esetben a kvaternió leírás kissé furcsának tűnik. Azonban ilyen esetben minden mátrix elem tulajdonképpen a 2x2-es mátrixokkal írható le, aminek a legáltalánosabban az egységmátrix, illetve a három Pauli-mátrix adja a bázisát. Mint ismeretes, a Pauli-mátrixok éppen a spin jelenlétében kapnak fontos szerepet, így nem meglepő, hogyha például spinpálya-csatolás miatt a különböző spinű fermionok másképp viselkednek, vagyis sérül a spin forgatási szimmetria. Természetesen a fenti osztályozásban az első osztályban a rendszer mind az időtükrözéssel, mind pedig a spinforgatással szemben is ugyanolyan marad, vagyis invariáns.

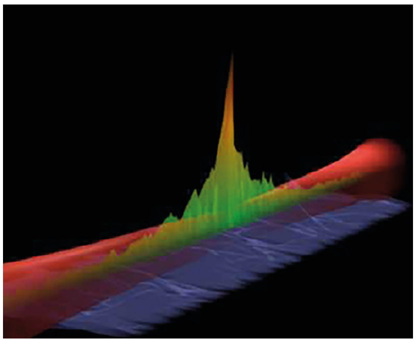
A véletlen mátrix elmélet egyik legfontosabb alapelve az, hogy felejtsük el a mikroszkopikus részleteket, vagyis a rendszert leíró mátrix elemeit vegyük véletlenszerűnek, és ne nézzük, milyen bonyolult és nehézkes úton lehet az elemeket analitikus úton kiszámítani. Ezek után csak a mátrix általános tulajdonságai mérvadóak, vagyis az csak a kérdés, hogy például egy Hamilton-mátrix valós szimmetrikus, komplex hermitikus, vagy kvaternió hermitikus, illetve még további lehetőségek is vannak, de a felsorolt három eset az az alap, amit a Wigner–Dyson-elmélet vizsgált. Érdekes megjegyezni, hogy ha például egy komplex hermitikus mátrix minden elemének képzetes részét kinullázzuk, akkor egy valós szimmetrikus mátrixhoz jutunk, mégis, ez a két halmaz lényegesen különbözik egymástól. Például az időtükrözésre szimmetrikus rendszerekhez mindig lehet valós szimmetrikus mátrixot rendelni, de ahol az időtükrözés sérül, abban az esetben biztosan nem lehet, csak komplex hermitikus mátrixot.

A véletlen mátrix elmélet kapcsolata az Anderson-féle átmenettel

Nézzük meg, mi történik, ha ezt a két problémakört összekötjük. Milyen hatással van a véletlen mátrix elmélet az Anderson-féle átmenet vizsgálatára? Milyen általános osztályozásra van mód? Abban az esetben, ha csak egy rendezetlen rendszert vizsgálunk úgy, hogy a benne szereplő elektronok spinje érdektelen, illetve nincsenek más hatások, akkor a rendszer Dyson-indexe 1. Ha állandó, külső mágneses térbe helyezzük ezt a rendezetlen rendszert, akkor a Dyson-index 2 és ilyenkor a mágneses tér hatására sérül az időtükrözési szimmetria. Végül, ha a résztvevő elektronok spinje egy spinpálya-csatolás miatt már lényeges szerepet, amivel a spin forgatási szimmetria sérül – de ilyenkor külső mágneses tér nincsen –, akkor a Dyson-index 4. Ez az osztályozás természetesen akkor is működik, ha a mátrixelemek nem általában független véletlen változók, hanem nagyjából előre meghatározottak. Például P.W. Anderson modellje olyan, hogy csak a diagonális elemek, tehát a főátlóban szereplő elemek véletlenszerűek, a nem-diagonálisak viszont jól meghatározott értéket vesznek fel. Érdekes megjegyezni, hogy az alkalmazott közelítéstől függően a nem-diagonális elemek jól visszatükrözik a rendszer topológiáját is. Vagyis sok ilyen mátrixelem zérus, és csak ott szerepel nullától különböző érték, ami annak a rácsnak a tulajdonsága, amiben az elektronok mozognak. Ez a rács lehet 1-, 2-vagy 3-dimenziós és lehet négyzetes vagy köbös, vagy más struktúrájú. Sajátos tulajdonsága az Anderson-féle átmenetnek, hogy alacsonyabb dimenzióban, azaz vonalszerű és síkszerű rendszerekben nem jön létre, csak kettőnél magasabb dimenziójú rendszerekben.

A fentiek figyelembe vételével elmondható, hogy a rendszer beágyazó dimenziótól és az ún. Dyson-indextől függően kapunk olyan osztályokat, sokaságokat, amelyeken belül univerzális viselkedést várunk, vagyis az Anderson-féle átmenetet leíró további hatványkitevők és más mennyiségek is függetlenek a modell részleteitől.

A különböző dimenziójú és Dyson-indexű osztályokhoz tartozó univerzális viselkedés felderítésére numerikus szimulációkat lehet végezni. Ezek a szimulációk már a múlt század kilencvenes éveitől egyre nagyobb pontosságú eredményeket szolgáltattak. Több lehetőség is mutatkozik arra, hogy az Anderson-átmenethez tartozó univerzális viselkedést vizsgáljuk.



Az ún. transzfer mátrix technológia. Ennek lényege, hogy veszünk egy *d-1* dimenziós keresztmetszetű nagyon hosszú rudat és nézzük, hogy a keresztmetszet szélesítésével, illetve elegendően hosszú rúd választásával milyen átviteli képességű, azaz vezetési tulajdonságú a rendszer. Sokáig ez volt a legpontosabb módja az Anderson-átmenet vizsgálatának. Szerencsére vannak matematikai tételek, amik segítségül hívhatók, valamint a már korábban emlegetett egy-paraméteres skálázás.

A spektrál statisztika módszere. Ez a módszer már nagyon közel áll a véletlen mátrix elmélethez, mert annak technikáját alkalmazza az Anderson-féle modellre. Itt L élhosszúságú, d-dimenziós kockát vizsgálunk, de csak a sajátértékeinek a statisztikus tulajdonságait. Például az egymást követő energiaszintek eloszlásfüggvényének vizsgálata is jó a fém-szigetelő átmenet vizsgálatára, mert a lokalizált fázisban a sajátállapotok csak elhanyagolható mértékben lapolják át egymást, tehát a hozzájuk tartozó energianívók akármilyen közel kerülhetnek egymáshoz. A vezető fázisban azonban az állapotok nagyjából az egész rendszerre kiterjedtek, vagyis ilyenkor a hozzájuk tartozó energiaszintek a véletlen mátrix elmélet szerint „taszítják" egymást. Ezt a két extrém esetet csak a termodinamikai határesetben lehet pontosan látni, véges rendszeren valamilyen közelítéssel. Szerencsére végesméret skálázással megkapható a kritikus pont és a környezetében tapasztalható univerzális viselkedés.

Multifraktáls állapotok analízise. Az Anderson-féle átmenet egy érdekes vonása, hogy az előbb említett két fázisban viszonylag könnyen azonosítható sajátállapotokkal rendelkezik, tehát a vezető fázisban az egész rendszeren végig futó kiterjedt állapotok jellemzik, míg a szigetelő fázisban inkább erősen lokalizált, a teljes rendszernél kisebb térrészen találhatók a sajátállapotok. Ezzel szemben a kritikus pontban, illetve kritikus energiákon az elektronok sajátállapotai nagyon furcsák: egyszerre lokalizáltak és kiterjedtek, vagyis lyukacsos, helyenként nagyobb eséllyel fordul elő, de akár az egész rendszeren végigfut, viszont imitt-amott egész nagy térrészben teljesen eltűnik. Ezekre az állapotokra leginkább az ún. multifraktál leírás illeszkedik. A legutóbbi időkben már lehetségessé vált, hogy a kritikus pontban található multifraktál tulajdonságú állapotokból is kimutatható legyen az Anderson-féle átmenetre jellemző univerzalitás, sőt még további részletek is kiszámíthatók ebben a tartományban.

Nézzük meg, hogy a különböző Dyson-indexű osztályok esetén, milyen exponenseket lehet kapni, mindezt úgy, hogy háromdimenziós egyszerű köbös rácsot tételezünk fel. A legegyszerűbb esetben, tehát a lokalizációs hossz divergenciáját leíró kitevő kb. 1,6. Ha a Dyson-index 2, akkor már az exponens kisebb, kb. 1,43 és a harmadik esetben, Dyson-index egyenlő 4 esetén a kitevő már csak 1,37. Látható, hogy a kitevők a három esetben nem sokkal térnek el egymástól, és bár korábban a számítási hibán belül megegyeztek, azonban a legújabb és legpontosabb eredmények szerint a három értékhez tartozó statisztikai hiba kisebb, mint a köztük mért távolság, tehát valóban különböznek egymástól. Ezzel szemben a különböző módszerekkel meghatározott kitevők hibahatáron belül megegyeznek.

Mind a három technológia arra épül, hogy ki kell számítani egy olyan mennyiséget, ami a fázis átalakulás egyik oldalán a termodinamikai határ elérésekor egyfajta értéket vesz fel, míg a másik oldalon egy másikat. Többnyire ilyen mennyiségek a kritikus pontban a két érték közötti ugyancsak a rendszer méretétől független értékhez tartanak. Ezekből a számításokból lehet meghatározni az ún. skálafüggvényt, illetve ennek következtében a lokalizációs hossznak a kritikus ponthoz közelítő divergenciáját leíró hatványfüggvény kitevőjét.

Kissé misztikus, hogy a numerikus szimulációk miért vezetnek viszonylag nagy pontossággal három különböző értékhez, ezek miért csökkennek a Dyson-index növelésével, illetve miért térnek el olyan nagymértékben a kísérletileg a fázis átalakulások sokszor tapasztalható egységnyi értéktől.

Decemberi számunkból

Hérincs Dávid: Tíz hurrikán egyhuzamban

Szabados László: Galaxishalmazok faggatása. Miről árulkodik a galaxisok közötti térség vastartalma?

Varga Péter: Legrégebbi ismertnek vélt földrengésünk: Savaria, 455

Pátkai Zsolt: 2017 nyarának időjárása

Szabad János: Miként ketyeg a belső óra? Fiziológiai és orvostudományi Nobel-díj 2017

Venetianer Pál: Modellszervezetek a biológiában

E számunk szerzői

DR. ABONYI IVÁN, a fizikai tudományok kandidátusa, Budapest; ÁDÁM PÉTER fizikus, PhD, MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont, Kvantumoptikai és Kvantuminformatikai Osztály, Budapest; DR. CSEH JÓZSEF fizikus, az MTA doktora, tudományos tanácsadó, MTA Atommagkutató Intézet, Debrecen; DR. CSEHI ANDRÁS fizikus, ELI Elméleti és Számítógépes Molekulaszerkezet és Dinamikai Csoport, a Debreceni Egyetem Elméleti Fizikai Tanszék egyetemi adjunktusa, Debrecen; DR. DOMOKOS PÉTER akadémikus, MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont, Budapest; DR. GADÓ JÁNOS, az MTA doktora, MTA Energiatudományi Kutatóközpont, professor emeritus, a V4G4 Centre of Excellence elnöke, Budapest; DR. HORVÁTH DEZSŐ, MTA Wigner FK, Budapest és MTA Atomki, Debrecen; DR. HALÁSZ GÁBOR fizikus, egyetemi tanár, Debreceni Egyetem Információtechnológiai Tanszék, Debrecen; DR. HÓZER ZOLTÁN, MTA doktora, MTA Energiatudományi Kutatóközpont, Budapest; DR. KISS TAMÁS fizikus, PhD, MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont, Kvantumoptikai és Kvantuminformatikai Osztály, Budapest; DR. KONIORCZYK MÁTYÁS fizikus, PhD, Pécsi Tudományegyetem Természettudományi Kar, Alkalmazott Matematika Tanszék, Pécs; DR. PALÁGYI GYÖRGYNÉ tanár, Budapest-Fasori Evangélikus Gimnázium; DR. RADNAI GYULA fizikus, ELTE Fizikai Intézet, Anyagfizikai Tanszék, Budapest; DR. SOLT GYÖRGY elméleti fizikus, Zug, Svájc; DR. SÓLYOM JENŐ akadémikus, professor emeritus, ELTE–MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont, Budapest; DR. VARGA IMRE egyetemi docens, BME Elméleti Fizika Tanszék, Budapest; DR. VIBÓK ÁGNES fizikus, az ELI Elméleti és Számítógépes Molekulaszerkezet és Dinamikai Csoport vezetője, a Debreceni Egyetem Elméleti Fizikai Tanszék egyetemi tanára, Debrecen;

GADÓ JÁNOS

Negyedik generációs gázhűtésű gyorsreaktor

Magyar kutatók egy csoportja, nemzetközi projekt keretében, több éve foglalkozik az ALLEGRO gázhűtésű gyorsreaktor fejlesztésével. A cikk először a gyorsreaktor fejlesztés általános céljait és a fejlesztés jelenlegi nemzetközi helyzetét tárgyalja, majd bemutatja a gázhűtésű gyorsreaktor specifikumait, az ALLEGRO projekt kereteit és a projekt aktuális helyzetét.

Új technológia

Az atomreaktorok köztudomásúan a maghasadáson alapuló, szabályozott láncreakcióban keletkező energiát hasznosítják. Az atomerőművek kezdetektől fogva egészen a mai napig és a közeljövőben is olyan módon működnek, hogy a maghasadásban keletkező 1-10 MeV energiájú ún. gyors neutronokat a reaktorban lelassítják 0-1 eV ún. termikus energiára, ahol a neutronok igen jó eséllyel újabb maghasadásokat keltenek. Ezeket a reaktorokat termikus reaktoroknak nevezzük. A neutronokat lassító közeg lehet grafit, vagy egyszerűen víz, ami egyben a reaktor hűtőközegéül is szolgál. A hűtőközeg felmelegedése révén hasznosul a maghasadásban keletkező energia, és a keletkező gőz azután a hőerőművekben szokásos turbinákon és generátorokon keresztül villamosenergia termelését teszi lehetővé.

Már a reaktorok fejlesztésének legkezdetibb szakaszán felismerték, hogy a termikus reaktorok mellett kifejleszthetőek lehetnek olyan ún. gyorsreaktorok is, amelyek a gyors neutronokat közvetlenül használják újabb maghasadások keltésére. Ebben az esetben természetesen a neutronok lassítása elkerülendő, viszont megfelelő hűtőközegről mindenképpen gondoskodni kell. Mivel a kis tömegszámú atommagok (elsősorban a hidrogén) erősen lassítják a neutronokat, ezért a hűtőközeg csak viszonylag magas tömegszámú atommagokat tartalmazó anyag lehet, amelynek termodinamikai tulajdonságai (pl. olvadáspont, forráspont, hőkapacitás) megfelelőek. Így csak kevés anyag jön szóba, gya-