

PhD TÉZISEK

1/F-ZAJ ÉS SZTOCHASZTIKUS REZONANCIA VIZSGÁLATA ANALÓG ÉS
NUMERIKUS MÓDSZEREKKEL



Dr. Gingl Zoltán

JATE, Kísérleti Fizikai Tanszék

TUDOMÁNYOS ELŐZMÉNYEK, CÉLKITÚZÉSEK

A modern fizika egyik igen fontos területe a szilárd testekben fellépő zajjelenségek vizsgálata. Régebben a fluktuációkat a méréseket zavaró, korlátozó tényezőként tartották számon, napjainkban azonban a modern mérés technika és a rendelkezésre álló modellek lehetővé teszik a lényegi információszerzést a vizsgált rendszerről zajmérések útján. Ennek megfelelően a zajkutatók célja sokrétű: a zajok minél jobb izolálása, azok erőssége csökkentésének technológiai célján kívül a fizikai rendszerekről történő információszerzés és az ehhez kapcsolódó modellalkotás napjaink egyik fő feladata.

Sok régóta ismert és viszonylag egyszerűen kezelhető zajtípus létezik, azonban vannak olyan általánosan előforduló típusok, amelyekre a mai napig nem sikerült kielégítő modellt adni, és tulajdonságaikat maradéktalanul megérteni. Ilyen az úgynevezett $1/f$ -zaj, amelyik rendkívül sok fizikai és biológiai rendszerben megtalálható, például félvezetőkben, lézerekben, szupravezetőkben, idegsejtek működésében, stb.

A fentiek indokolják kutatási célkitűzéseimet, amelyek között szerepel különböző zajtípusok modelljeinek megadása, $1/f$ -zaj időbeli szerkezetének vizsgálata mérések és numerikus modellezés segítségével. Hasonlóan fontosnak tartom a speciális fizikai rendszerekben fellépő zajok vizsgálatát, amelyek újabb szempontokat adhatnak egy zajtípus megértéséhez, illetve a vizsgált rendszer pontosabb megismeréséhez is. Kiemelten foglalkozom a szilárdtestfizika egyik újonnan kutatott

jelenségének, a sztochasztikus rezonanciának elemzésével. A téma újdonsága mellett gyakorlati alkalmazásokra is lehetőség van, és biológiai rendszerekben leírására is használatos.

Céljaim közé tartozik a kutatási munka elvégzését támogató mérőrendszer-fejlesztési tervek kidolgozása és megvalósítása is. Ezen belül a kutatási témában ma már elengedhetetlen a számítógéppel vezérelt mérések intenzív használata, amire különösen nagy hangsúlyt helyezek. A zajok időszerkezeti és spektrális analíziséhez nagy hatékonysággal használhatók a számítógéphez illesztett nagyfelbontású A/D konverterek, míg vezérlési, paraméterszabályozási feladatokat könnyen végezhetünk el D/A konverterek segítségével. Az adatok feldolgozása ezek után már csak a szoftvereken múlik, ami által igen nagy hatékonyság és rugalmasság érhető el.

A VIZSGÁLATOK MÓDSZEREI

Vizsgálataimhoz alapvetően két különböző eljárást alkalmaztam. Az első a zaj illetve fluktuáló rendszer numerikus modellezése. A gyakorlati implementációhoz a hatékony és rugalmas C nyelvet választottam. Az egyszerűbb feladatokra a Kísérleti Fizikai Tanszéken rendelkezésre álló személyi számítógépeket használtam, a nagyobb munkák elvégzésére az Egyetemi Számítóközpont gépeit vettem igénybe. Numerikus modellezéseket végeztem a svédországi University of Uppsala Szilárdtestfizikai Tanszékén egy DecStation 5100 típusú számítógépen is.

Emellett gyakran alkalmaztam az analóg áramkörökkel való

modellezést is. A realizációkhoz feladattól függően választottam meg az alapelemeket, elsősorban sebességi és pontossági igény szerint. A digitalizálást PC AT-486 számítógéphez illesztett Analog Devices konverterekkel végeztem el. Ez utóbbi rendszer szolgálta mérési feladataim elvégzését is.

ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Mérőrendszert terveztem és valósítottam meg az önszervező kritikus rendszerek egy realizálásának (önszervező kritikus rendszerek buborék-modellje) számítógépezérelt mérésére. Ezzel egyidőben numerikus modellezéseket is végeztem, és meghatároztam a rendszert jellemző fluktuációk teljesítménysűrűség-spektrumának frekvenciafüggését.

Publikáció:[8]

2. Numerikus modellezést végeztem szemcsés szerkezetű magas hőmérsékletű szupravezetőkben lejátszódó perkolációs folyamatok vizsgálatára. Megmutattam az az ellenállásfluktuációk skálázódását, és meghatároztam a skálázási összefüggésekben szereplő exponensek értékeit.

Publikáció:[7]

3. Magyarázatot adtam a kétállapotú rendszerekben fellépő sztochasztikus rezonancia kimeneti spektrumában a páros felharmonikusoknál található minimumhelyek létrejöttére.

Publikáció:[12]

4. Analóg és numerikus modellezéssel meghatároztam az $1/f$ -zajjal gerjesztett a kétállapotú rendszerekben fellépő sztochasztikus rezonancia kimeneti spektrumának alakját. Megállapítottam, hogy a kimeneti spektrum alacsony frekvenciás tartományban szintén közel $1/f$ alakú, míg magasabb frekvenciákon $1/f^2$ alakba megy át.

Publikáció:[10,11,12]

5. Analóg és numerikus modellezéssel bizonyítottam a nem-dinamikai sztochasztikus rezonancia kimeneti jelamplitúdójának és jel/zaj viszonyának bemeneti zaj intenzitásától való függésére dr. Kiss László által megadott elméleti formula érvényességét. A mérésekhez elvégzéséhez 16-bites szigma-delta A/D konverterre épülő számítógépvezérelt mérőrendszert terveztem meg, aminek segítségével elértem, hogy a mérési adatok több nagyságrenden állnak rendelkezésre.

Publikáció:[13,14]

6. A Gaussi $1/f$ -zaj egy új tulajdonságát mutattam meg, amely a spektrum speciális nem-lineáris transzformációkkal szembeni viselkedésére vonatkozik. Állításaimat mérésekkel és numerikus modellezéssel igazoltam.

Publikáció:[10,16]

7. Analóg és numerikus módszereket terveztem meg és kiviteleztem a Gaussi $1/f$ -zajok markovi tulajdonságának elemzésére. A vizsgálatok eredményeképp megállapítható, hogy a Gaussi $1/f$ -zajok nem markovi folyamatok.

Publikáció:[15]

8. Speciális on-line mérőrendszert terveztem és valósítottam meg az emberi szív frekvenciájában és a vérnyomásban fellépő fluktuációk analízisének elvégzésére. A számítógépvezérelt mérőrendszer szimultán mintavevő-tartó áramkörrel rendelkező nyolc csatornás, 12-bites rendszer, amely lehetővé teszi a statisztikus és spektrális kiértékelés, a vérnyomás és pulzusszám folyamatos mérésének és a közöttük fellépő korreláció analízisének mérés közbeni elvégzését is.

Publikáció:[Orvosi Témájú Publikációk, 1-10]

Eredményeim elismerését jelenti, hogy 1994. júniusában meghívott előadóként vettem részt az Olaszországban rendezett International Conference On "Fluctuations in Physics and Biology..." konferencián (13. publikáció), és 1994-ben a Magyar Tudományos Akadémia OTKA pályázatát nyertem el sztochasztikus rezonancia vizsgálatának támogatására.

A KUTATÁSI EREDMÉNYEK HASZNOSÍTÁSA

Praktikusan minden zajokkal foglalkozó kutatásnak van gyakorlati jelentősége, mivel a zajok izolálásához szükséges a zajok pontos ismerete is. Hasonló módon általánosan kapcsolódhatnak a kutatási eredmények a rendszerek zajjelemezéseken alapuló vizsgálatához is.

Kutatási eredményeim jelentős része alapkutatás jellegű, így elsősorban a vizsgált modellek és véletlen folyamatok pontosabb

megismeréséhez járulnak hozzá. Különösen ki kell itt emelni az 1/f-zajjal kapcsolatos eredményeket, mivel az 1/f-zaj igen sok rendszerben fordul elő, és eredete ma sem pontosan ismert. Emiatt tartom fontosnak az 1/f-zaj időbeli szerkezetének és speciális tulajdonságainak vizsgálatában elért eredményeket is.

A sztochasztikus rezonancia egy viszonylag új kutatási terület, aminek esetében elsősorban a nem-dinamikus sztochasztikus rezonancia, és az 1/f-zajú gerjesztések vizsgálata jelentős. A nem-dinamikus rendszerben létrejövő sztochasztikus rezonancia lehetősége először 1993. végén merült fel, és a jelenség megértéséhez is nagyban járulhat hozzá, mivel eddig csak a rendszerek dinamikáját leíró összefüggéseknek tulajdonították a rezonancia eredetét. A sztochasztikus rezonancia egyik fontos alkalmazási területe bizonyos biológiai rendszerek (idegsejtek működésének) leírása, amelyekben igen gyakori az 1/f-zaj jelenléte. Ez indokolja az 1/f-zajú gerjesztések esetére vonatkozó eredmények fontosságát.

Az említett tudományos hasznosítási lehetőségek mellett a kidolgozott mérési és modellezési eljárásoknak és a kifejlesztett mérőrendszereknek gyakorlati alkalmazása is lehetséges más kutatási területeken és feladatokban. Különösen vonatkozik ez az orvosi témájú kutatások céljára kifejlesztett mérőrendszerre, aminek gyakorlati haszna kézenfekvő.



PUBLIKÁCIÓS LISTA

1. **Gingl Z.**, Terjedő perturbációk vizsgálata a paksi reaktorokon végzett mérések alapján, Acta Univ., Szeged., Acta Iuvenum, Szeged, 1987.
2. **Z. Gingl**, J. Kollár, "Local structure of icosahedral quasicrystals", EPS Conference of Sol. Stat. Phys., 1988, Budapest, Hungary; KFKI-1988-41/E preprint
3. **Z. Gingl**, L.B. Kiss, R. Vajtai, "1/f noise generated by scaled brownian motion", Proc. 10th International Conference on Noise in Physical Systems, ed. A. Ambrózy, Budapest 1990 Akadémia
4. Gy. Trefán, L.B. Kiss, **Z. Gingl**, M. Török, I. Hevesi, A. Ambrózy, "Diffusion noise generators realized by analog circuits", Proc. 10th International Conference on Noise in Physical Systems, ed. A. Ambrózy, Budapest 1990 Akadémia
5. A. Ambrózy, P. Bánlaki, **Z. Gingl**, L.B. Kiss, R. Vajtai, Gy. Trefán, I. Hevesi, "1/f noise generators based on a computer random walk", Proc. 10th International Conference on Noise in Physical Systems, ed. A. Ambrózy, Budapest 1990 Akadémia
6. **Z. Gingl**, L.B. Kiss, R. Vajtai, "1/f noise generated by scaled brownian motion", Solid State Comm., 74 (9), 765-767, (1989)

7. L.B. Kiss, P. Svedlindh, L. Lundgren, J. Hudner, H. Ohlsén, L. Stolt and **Z. Gingl**, "Scaling spontaneous fluctuations in high Tc superconductor films", Physica B, 172 (1991) 441
8. J. Sneider, **Z. Gingl**, J. Gyapjas, L.B. Kiss, J. Kertész, S. Hashiguchi and E. Schwartzman, "Bubble noise in aqueous ionic solution", Proc. Noise in Physical Systems and 1/f Fluctuations, eds. T. Musha, S. Sato and M. Yamamoto (Kyoto 1991), Ohmsha Ltd.
9. **Z. Gingl** and Z. Néda, "The fractal structure of zerosets", Studia, Univ. Babes-Bolyai, Physica, 1991
10. **Z. Gingl**, L.B. Kiss and Zs. Márton, "A Crucial Property of Gaussian 1/f Fluctuations and Relations with Stochastic Resonance driven by 1/f noise", poster, International Conference On Stochastic Resonance, March 1992., San Diego, USA
11. Zs. Márton, **Z. Gingl** and L.B. Kiss, "Stochastic Resonance in an 1/f noise driven Schmitt-trigger", poster, International Conference On Stochastic Resonance, March 1992., San Diego, USA
12. L.B. Kiss, **Z. Gingl**, Zs. Márton, J. Kertész, F. Moss, G. Schmera and A. Bulsara, "1/f noise in systems showing stochastic resonance", invited talk at "Nato Workshop on Stochastic Resonance...", San Diego, J. Stat. Phys. 70 (1993) 451
13. **Z. Gingl**, L.B. Kiss and F. Moss, "Nondynamical stochastic resonance", invited talk at International Conference On

"Fluctuations in Physics and Biology...", Elba (Italy), June 1994

14. **Z. Gingl**, L.B. Kiss and F. Moss, "Nondynamical Stochastic Resonance - Theory and Experiments with White and Arbitrarily Coloured Noise", submitted to EuroPhysics Letters

15. I. Nagy, **Z. Gingl**, J. Vinko and L.B. Kiss, "Testing the Markovian property of Gaussian 1/f fluctuations", submitted to Physica D.

16. **Z. Gingl** and L.B. Kiss, "A Crucial Property of Gaussian 1/f Fluctuations", International Conference On Noise In Physical Systems, October 1994, Palanga, Lithuania

ORVOSI TÉMÁJÚ PUBLIKÁCIÓK

1. A. Kardos, L. Rudas, S. Szabados, J. Simon and **Z. Gingl**, "The mechanism of blood pressure variability in patients with fixed ventricular pacemaker rhythm", Joint XII World Congress of Cardiology and XVth Congress of the European Society of Cardiology, Berlin-Germany, Sept. 10-14, 1994. (European Heart Journal Suppl.)

2. Kardos A., Rudas L., Szabados S., Simon J. és **Gingl Z.**, "A vérnyomás variabilitás alakulása fix kamrai pacemaker ritmussal élő betegeken", A Magyar Kardiológusok Társasága Tudományos Kongresszusa, Balatonfüred, Május 4-7., 1994. (Cardiologia

Hungarica Abstract könyv 64.)

3. Simon J., Kardos A., **Gingl Z.** és Rudas L. "Valsalva Manóver: A baroreflex érzékenység kvantitatív meghatározásának eszköze", A Magyar Kardiológusok Társasága Tudományos Kongresszusa, Balatonfüred, Május 4-7., 1994. (Cardiologia Hungarica Abstract könyv 64.)

4. Szabados S., Kardos A., Simon J., **Gingl Z.**, Hegedús Z., Verzár Zs., Rudas L. és Kovács G., "A folyamatos nem invazív vérnyomás mérés szerepe a pacemaker szindróma diagnosztikájában", A Magyar Kardiológusok Társasága Tudományos Kongresszusa, Balatonfüred, Május 4-7., 1994. (Cardiologia Hungarica Abstract könyv 30.)

5. J. Simon , A. Kardos, **Z. Gingl**, L. Rudas and M. Csanády, "Valsalva manoeuvre: A method for quantitative measurement of baroreflex sensitivity", 2nd Alpe Adria Cardiology Meeting, Brijuni-Croatia, June 22-25., 1994

6. J. Simon , A. Kardos, T. Török, **Z. Gingl** and L. Rudas, "Clinical application of Valsalva manoeuvre: measurement of baroreflex sensitivity", Magyar Élettani Társaság 59. Vándorgyűlése, Budapest, 1994. Július 10-13.

7. Kardos A, **Gingl Z.**, "A sziszémás vérnyomás és pulzusvariabilitás folyamatos, nem invazív, on-line vizsgálata emberben", Cardiol. Hung. 1994; 1994/2:39-51.

8. A. Kardos, L. Rudas, **Z. Gingl**, S. Szabados, J. Simon, "The Mechanism of Blood Pressure Variability in Patients with Fixed Ventricular Pacemaker Rhythm", European Heart Journal, 1994; accepted for publication

9. Szabados S., Kardos A., Simon J., **Gingl Z.**, Hegedűs Z és Rudas L., "Folyamatos non-invazív vérnyomásmérés jelentősége pacemaker szindróma diagnózisában", Orv. Hetil. 1994; 135:1255-1257.

10. **Gingl Z.**, Kardos A. és Rudas L., "Számítógépvezérelt mérőrendszer pulzusvariabilitás és vérnyomás on-line méréséhez", MediComp konferencia, Szeged, 1994. november 27-30.