

Univerzalitási osztályok nemegyensúlyi rendszerekben, Ódor Géza odor@mfa.kfki.hu

1. Bevezető, dinamikus skálázás, kritikus exponensek, térelmélet formalizmus, renormalizáció, topológus fázis diagrammok, öregedés, lokális skála invariancia, átmenetek kaotikus állapotba
2. Alapvető kritikus stat. fiz. rendszerek dinamikus kiterjesztései, durvulás, domén növekedés, rendezetlenség
3. Nemegyensúlyi univerzalitások fluktuáló rendezett állapotú modellekben, árammal, térrel hajtott rendszerek
4. Nemegyensúlyi alap univerzalitás osztályok abszorbeáló állapotú átmeneteknél
5. Dinamikus skálázás elsőrendű átmeneteknél
6. Nemegyensúlyi univerzalitások, multikomponens rendszerekben, topológus effektusok alacsony dimenziókban
7. Nemegyensúlyi felületnövekedési osztályok

Nemegyensúlyi statisztikus fizikai rendszerek

- A részletes egyensúly “szimmetria” sérült

$$w_{i \rightarrow j} P(s_i) = w_{j \rightarrow i} P(s_j)$$

Nincs Gibbs eloszlás, szabad energia, a klasszikus statisztikus fizikán alapuló termodinamikai leírás.

- Gyakoriak a természetben:

a) Egyensúlytól távoli állapotból az egyensúly felé relaxálva domén növekedés, spinüvegek stb.

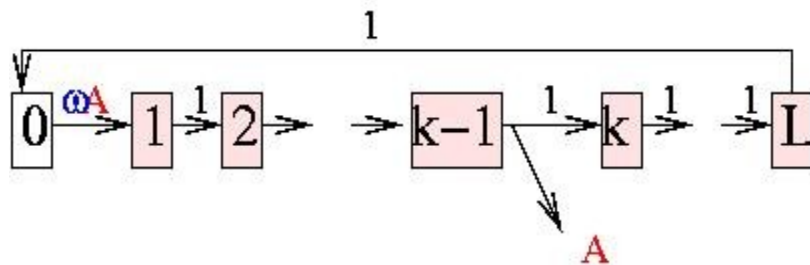
b) Kívülről hajtott áramlások esetén

c) Átmeneti rátákkal definiált folyamatok pl.:

reakció-diffúziós részecske rendszerek, spin modellek, vagy felület növekedési folyamatok esetén.

Példák nemegyensúlyi rendszerekben abszorbeáló fázisátalakulásra

2 dimenziós rács model
önaktiváló biológiai struktúrákkal
(szövet, sejt vagy enzim) és
diffúzív aktiválóval.



- Erdőtűz, vagy betegség terjedés
- Biológiai evolúció
- Felületi katalízis
- Populációs dinamika
- Közlekedési modellek
- Sejt kölcsönhatások az immunrendszerben

Leírási módok

- A master egyenletből indulva:

$$dp(\alpha; t)/dt = \sum_{\beta} w_{\beta \rightarrow \alpha} p(\beta; t) - \sum_{\beta} w_{\alpha \rightarrow \beta} p(\alpha; t)$$

- Fock tér reprezentációval nem hermitikus időfejlesztő operátorral jellemzett “Schrödinger szerű egyenlet”:

$$d\Psi(t)/dt = -H\Psi(t)$$

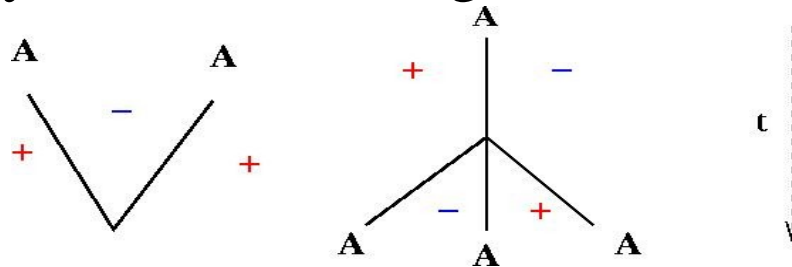
- Térrelméleti, renormcsoportos tárgyalás. Gyakran problémákba ütközik.
- Más numerikus technikák igazoltak. Pl.: dinamikus klaszter átlagtér, koherens anomália, szimulációk

Univerzalitási osztályok

- Egyik elsődleges cél az egyensúlyihoz hasonló kritikus univerzalitási osztályok feltárása
- A Gibbs eloszlás hiánya miatt alacsony dimenziókban fázisátalakulások lehetségesek
- Mi határozza meg az univerzalitási osztályt ?
A térbeli dimenziók, határfeltételek, inhomogenitások mellett
 - 1) A szimmetriák, megmaradások itt is relevánsak
 - 2) Átlagtér osztályoknál: $nA \rightarrow (n+k)A$, $mA \rightarrow (m-1)A$
 - 3) Versengő reakcióknál a releváns folyamat
 - 4) Kezdeti feltételek (időbeli határfeltétel)
 - 5) Topológikus effektusok alacsony dimenziókban
 - 6) ...

Szimmetriák, megmaradó mennyiségek

- Nemegyensúlyi kinetikus Ising modell (NEKIM)



Z_2 szimmetria, doménfalak \rightarrow részecskék: $AA \rightarrow 0$ $A \rightarrow 3A$ (PC)

paritás megőrzés \rightarrow más univerzalitás mint: $AA \rightarrow 0$, $A \rightarrow 2A$

N. Menyhárd, J. Phys. A 1994. (DP)

- NEKIM + külső mágneses tér: Z_2 szimmetria sérült: DP
N. Menyhárd és G. Ódor, J. Phys. A 1996.

- Más modelleknél pl.: $AA \rightarrow 0$, $AA \rightarrow (2+n)A$
a paritás megőrzés nem releváns (PCPD osztály).

G. Ódor, M.C. Marques és M. A. Santos, Phys. Rev. E 2002.

Átlagtér osztályok reakció-diffúziós rendszerekben

- Általános reakció-diffúziós modellek:



$$(n>1, m>1, k>0, l>0, m-l \geq 0)$$

- $n = m$: $\beta = 1, \alpha = 1/n$
- $n < m$: $\beta = 1/(m-n), \alpha = 1/(m-1)$
- $n > m$: Elsőrendű fázisátmenet

$$\rho(t) \propto t^{-\alpha}$$
$$\rho(\infty) \propto \epsilon^\beta$$

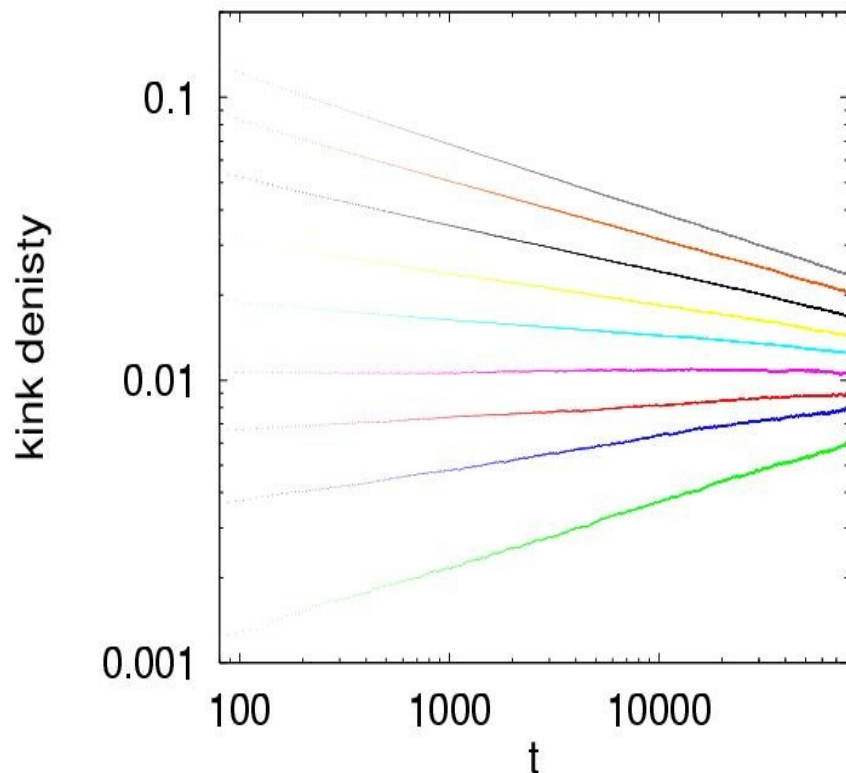
n és m határozza meg a kritikus viselkedést !

G. Ódor: PRE 67, 056114 (2003)

Versengő folyamatok

- $A \rightarrow 2A, 2A \rightarrow 0$ modell:
Effektív $A \rightarrow 0$ generálódik ($A \rightarrow 2A \rightarrow 0$) és releváns
--> DP oszt. *J. Cardy és U. Tauber, J. Stat. Phys. 1998*
- $2A \rightarrow 3A, 4A \rightarrow 0, 0A \leftrightarrow A0$ modell.
Gyenge diffúziónál effektív: $2A \rightarrow 0$
 $(2A \rightarrow 3A \rightarrow 4A \rightarrow 0)$
relevánssá válhat a $4A \rightarrow 0$ -hoz képest.
Erős diffúziónál $2A \rightarrow 0$ nem releváns.
Más-más kritikus viselkedés. *G. Ódor, cond-mat/0307351*

Kezdeti feltételek (“időbeli” felület)



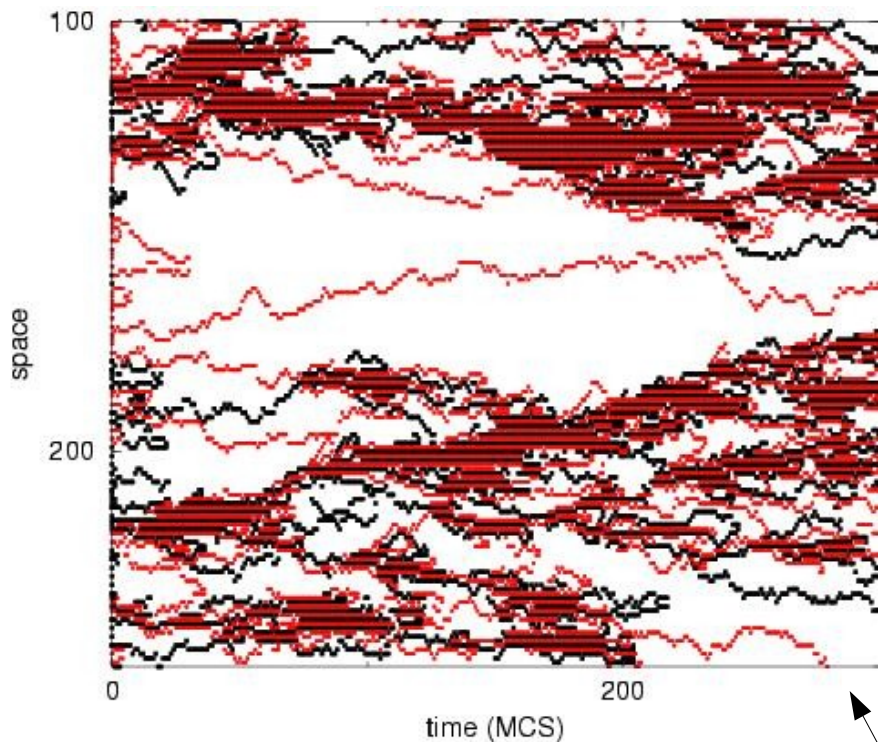
NEKIM + korrelált kezdeti kink eloszlás
Doménfal bomlás különböző σ -k esetén.

- Homogén \leftrightarrow Inhomogén
pl.: $2A \rightarrow 3A$, $2A \rightarrow 0$,
 $0A \leftrightarrow A0$:
Pár kontakt processz.
G. Ódor et al., PRE 2000
- Korrelált \leftrightarrow korrelálatlan
pl.: hatványfüggvény szerű,
folytonosan változó σ -val:

$$C(r) = (s_i, s_j) \propto r^{d-\sigma}$$

H. Hinrichsen, G. Ódor, PRE 1998; N. Menyhárd, G. Ódor, Braz. J. Phys. 2000.

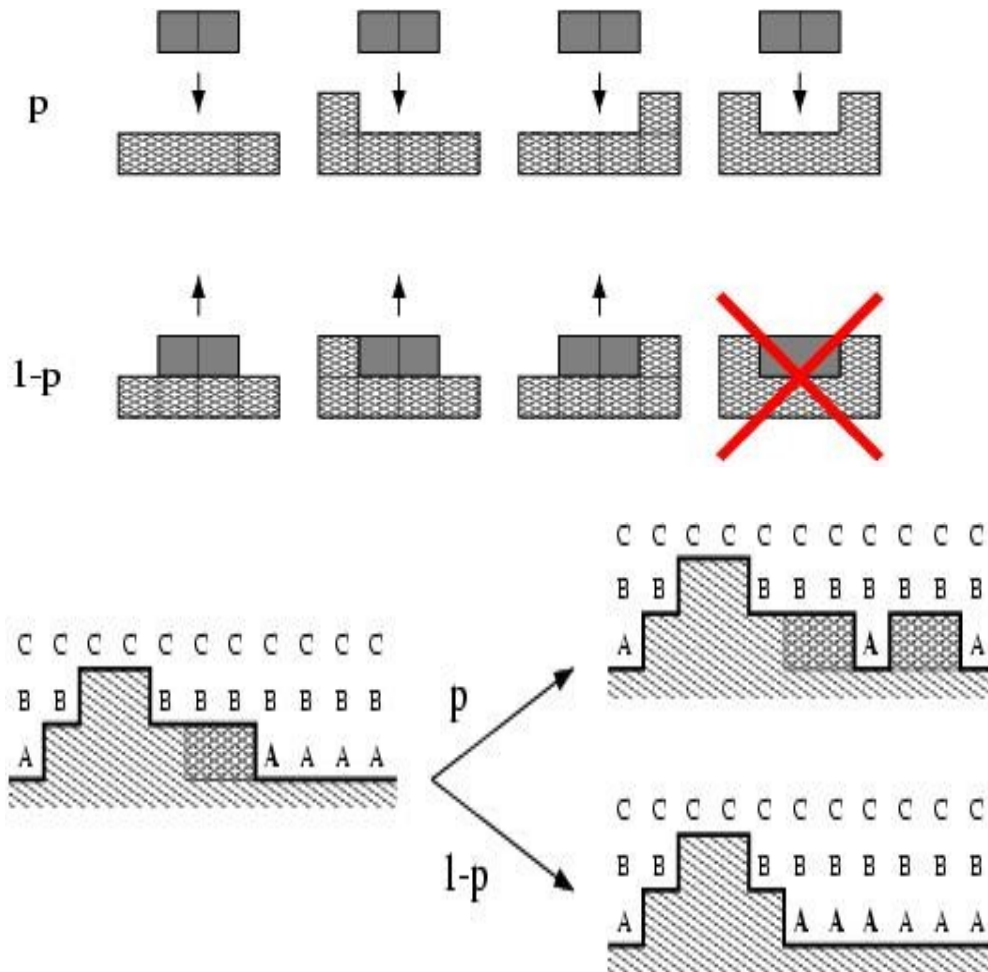
Topológikus effektusok alacsony dimenziókban



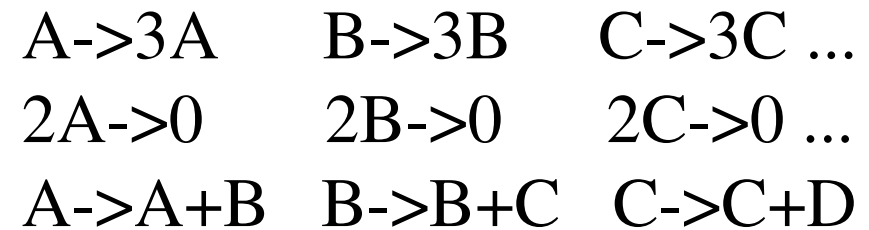
Új univerzalitási osztályok
G. Ódor, PRE 2001; 2002;
G. Ódor, N. Menyhárd,
Physica D 2002.

- Egy komponensű rendszerek: “fermionikus” \leftrightarrow “bozonikus”
rács betöltöttség. Bozonikus esetben divergáló részecske szám lehet (pl. PCPD).
- Több komponensű rendszerek: A térbeli szimmetria releváns:
 - $AA \rightarrow 0, BB \rightarrow 0$
 - a) $AB \rightarrow ABB, AB \rightarrow AAB \dots$
nincs aktív fázis
 - b) $AB \rightarrow ABA, AB \rightarrow BAB \dots$
PCPD kritikus átmenet
 - c) $AA \rightarrow AAB, AA \rightarrow BAA \dots$
más fajta kritikus átmenet

Alkalmazás, kapcsolódás felület növekedési jelenségekhez



- Dimeres felület növekedési modellek \leftrightarrow Egy irányba csatolt paritás megőrző rendszerek:



- Durvulási átmenet \leftrightarrow szintenkénti abszorbeáló átmenet. Itt a paritás megőrző osztály univerzális tulajdonságai figyelhetőek meg (pl. anizotrópia, betöltöttség...)

Összefoglaló

- Még az alapvető univerzalitási osztályok feltárásánál tartunk, sok a vitatott kérdés
- Mi befolyásolja a dinamikus osztályokat ?
- Hatékonyabb elméleti módszerek kellenének
- Az alkalmazásokat is segítő összefoglaló készült mely szisztematikus rendben tárgyalja a megismert dinamikus osztályokat. Elérhető:
cond-mat/0205644,
Rev. Mod. Phys. 76 (2004) 663