

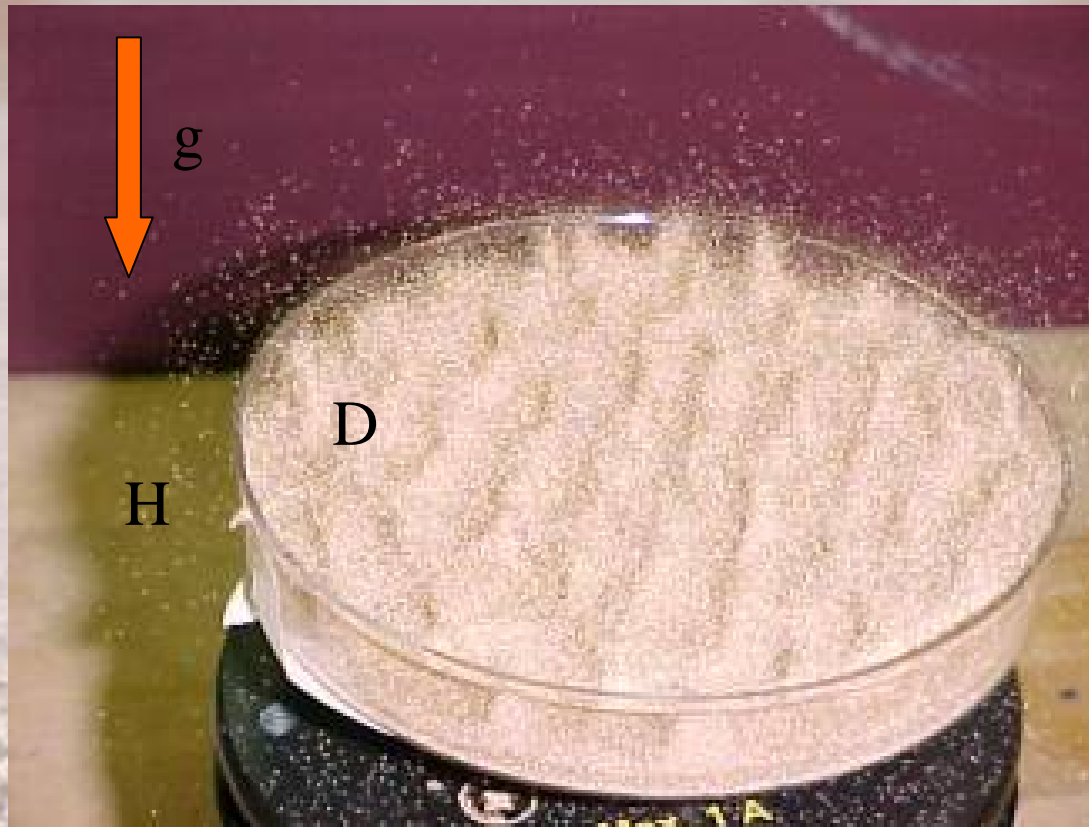


Függőlegesen rezgetett szemcsés réteg tulajdonságai

Geresdi Attila

Jelenség

Rezgetett szemcsés anyagban kialakuló mintázatok



Tartalom:

- kialakuló mintázatok kísérleti vizsgálata:
 - kísérleti technika
 - fázisdiagram,
 - diszperziós reláció
- elméleti megfontolások, egyrészecske modell

Kísérleti eredmények

Jelenség:

Rezgetett szemcsés anyagban kialakuló mintázatok



- $f/2$, $f/3$, $f/4$, $f/6$ frekvencia
- négyszög, zebra, hatszög mintázat
- nem periodikus mintázatok
- jól definiált fázisdiagram
- univerzális viselkedés

Kísérleti eredmények

Jelenség:

Rezgetett szemcsés anyagban kialakuló mintázatok



- $f/2, f/3, f/4, f/6$ frekvencia
- négyszög, zebra, hatszög mintázat
- nem periodikus mintázatok
- jól definiált fázisdiagram
- univerzális viselkedés

Dimenziótlanított paraméterek:

$$\Gamma = \frac{\omega^2 A}{g}$$

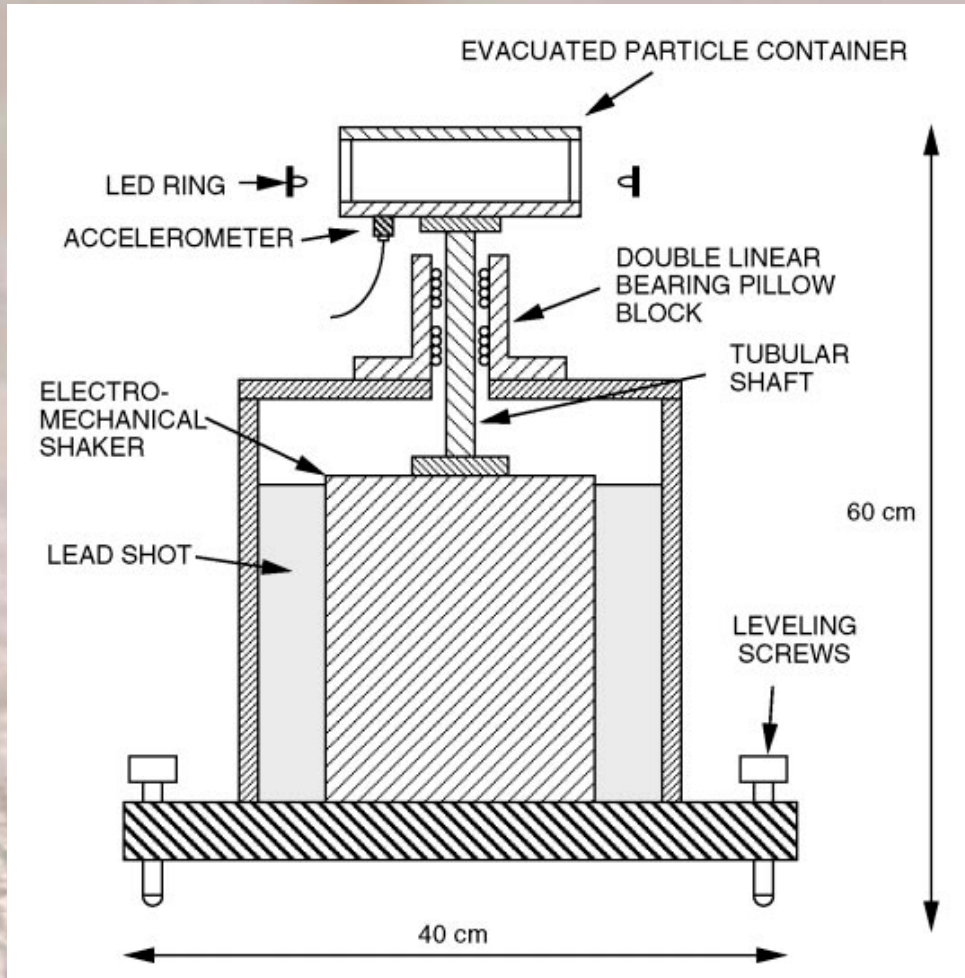
$$N = \frac{H}{D}$$

$$f^* = f \sqrt{\frac{H}{g}}$$

$$\lambda^* = \frac{\lambda}{H}$$

Kísérleti eredmények

Elrendezés:



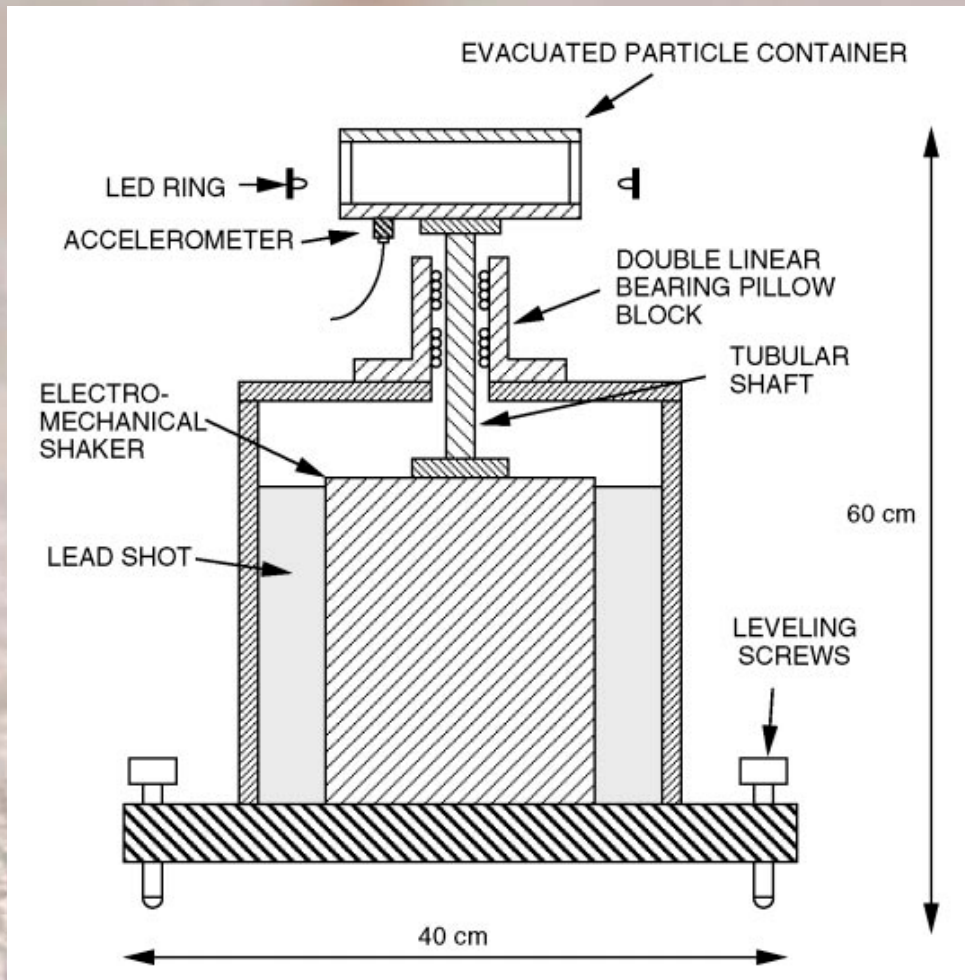
Lapos szögű szinkronizált megvilágítás



Oszcilláló mintázatok megfigyelhetőek

Kísérleti eredmények

Elrendezés:



Vizsgált tartomány:

$$\Gamma = 0 \dots 10 \quad A \sim 1 \text{ mm} \dots 1 \text{ cm}$$

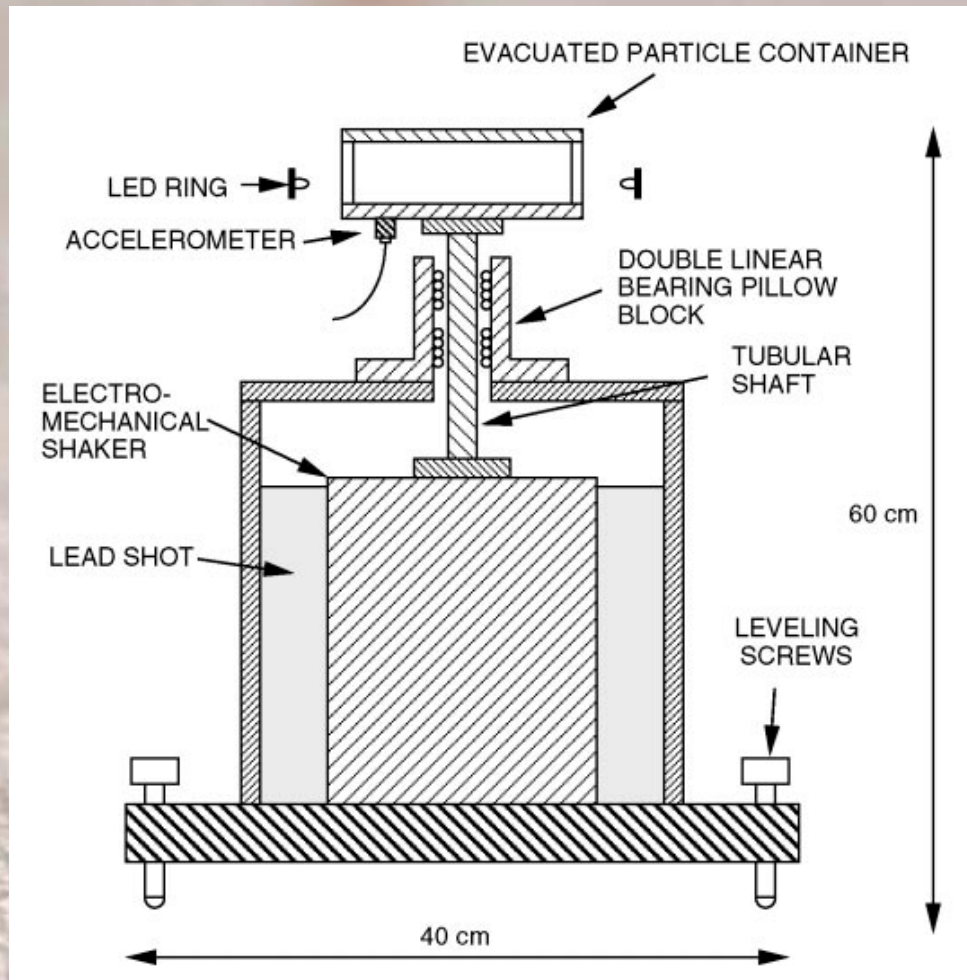
$$f^* = 0.1 \dots 1 \quad f \sim 10 \text{ Hz} \dots 100 \text{ Hz}$$

$$N = 2 \dots 10 \quad D \sim 0.1 \text{ mm} \dots \text{mm}$$

$$\lambda^* = 1 \dots 10 \quad \lambda \sim 1 \text{ mm} \dots 1 \text{ cm}$$

Kísérleti eredmények

Elrendezés:



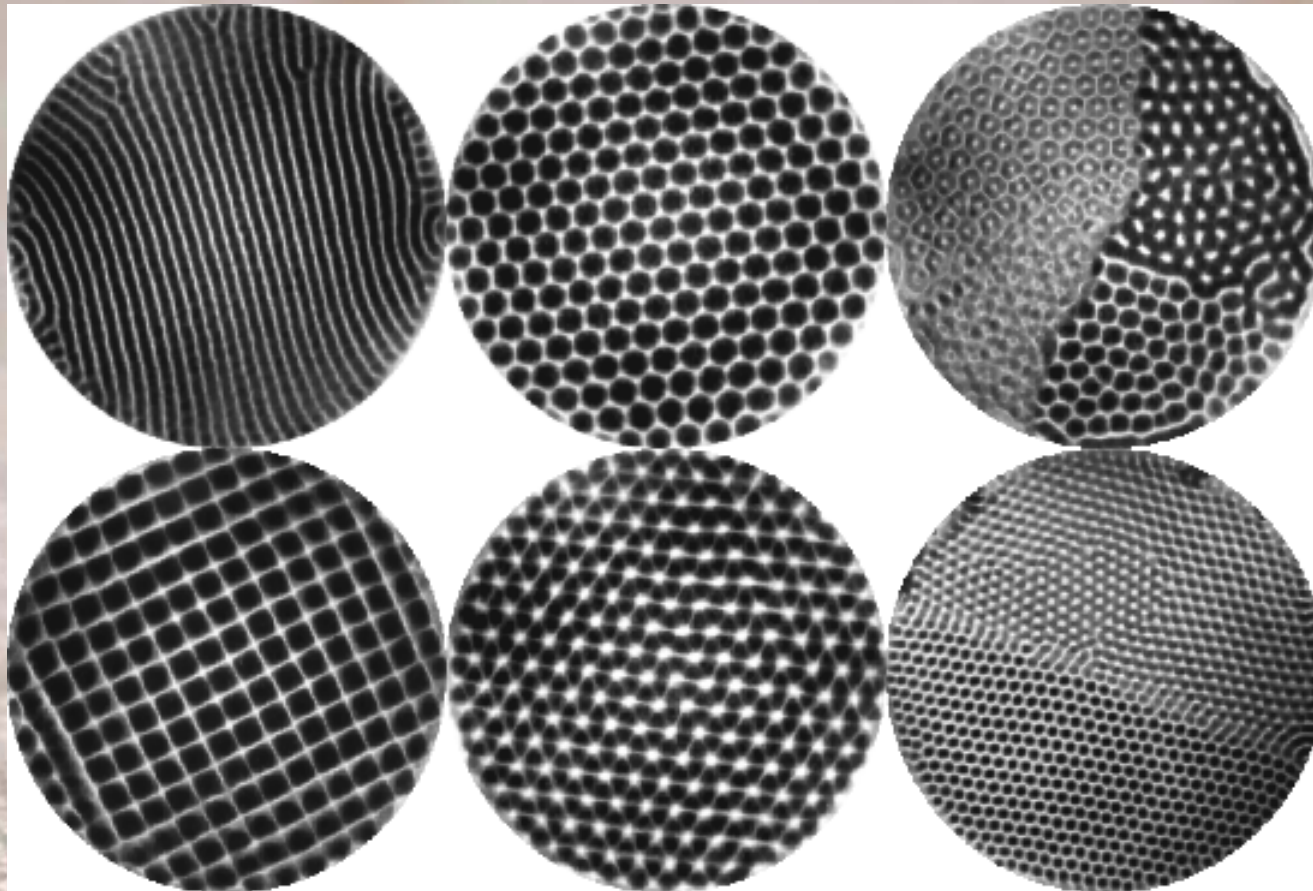
További körülmények:

- vákuum;
- homogén méretű gömbök;
- nem mágneses fém részecskék.

(rozsdamentes acél, bronz, titán, ólom...)

Kísérleti eredmények

Periodikus mintázatok ($\Gamma > 2.5$):



$f/2$; $f/4$

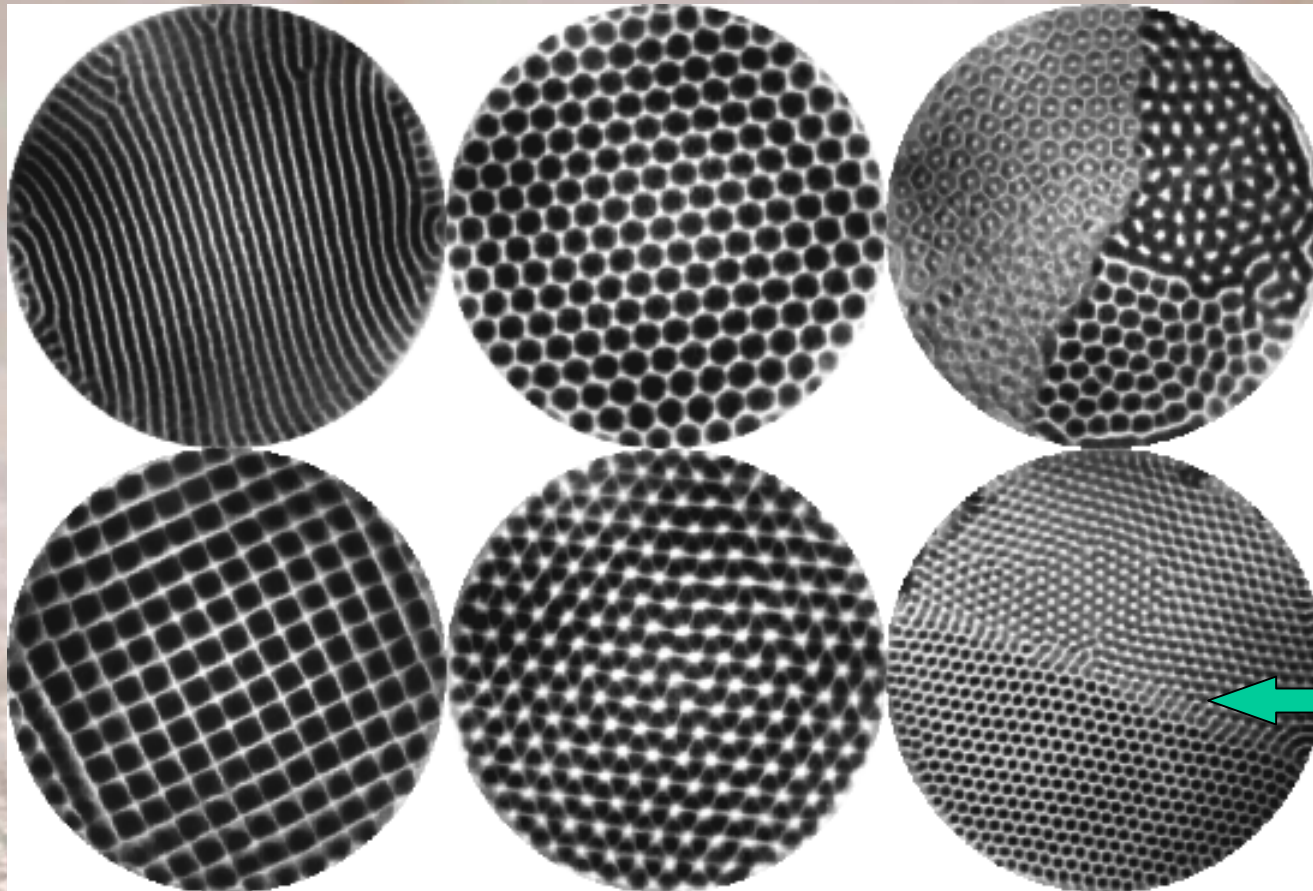
stabil módusok

$f/3$; $f/6$

tranzients módusok

Kísérleti eredmények

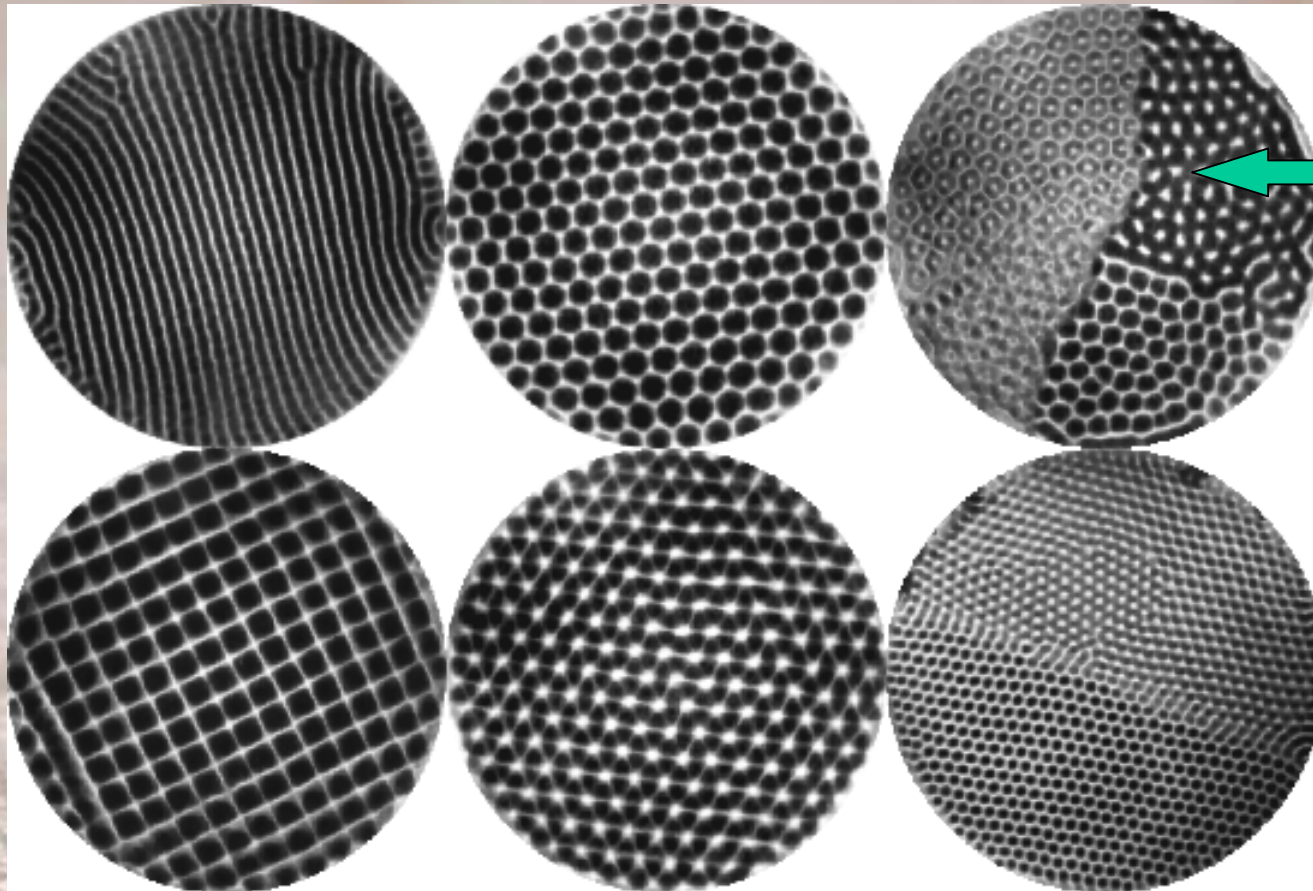
Periodikus mintázatok ($\Gamma > 2.5$):



fázisugrás

Kísérleti eredmények

Periodikus mintázatok ($\Gamma > 2.5$):

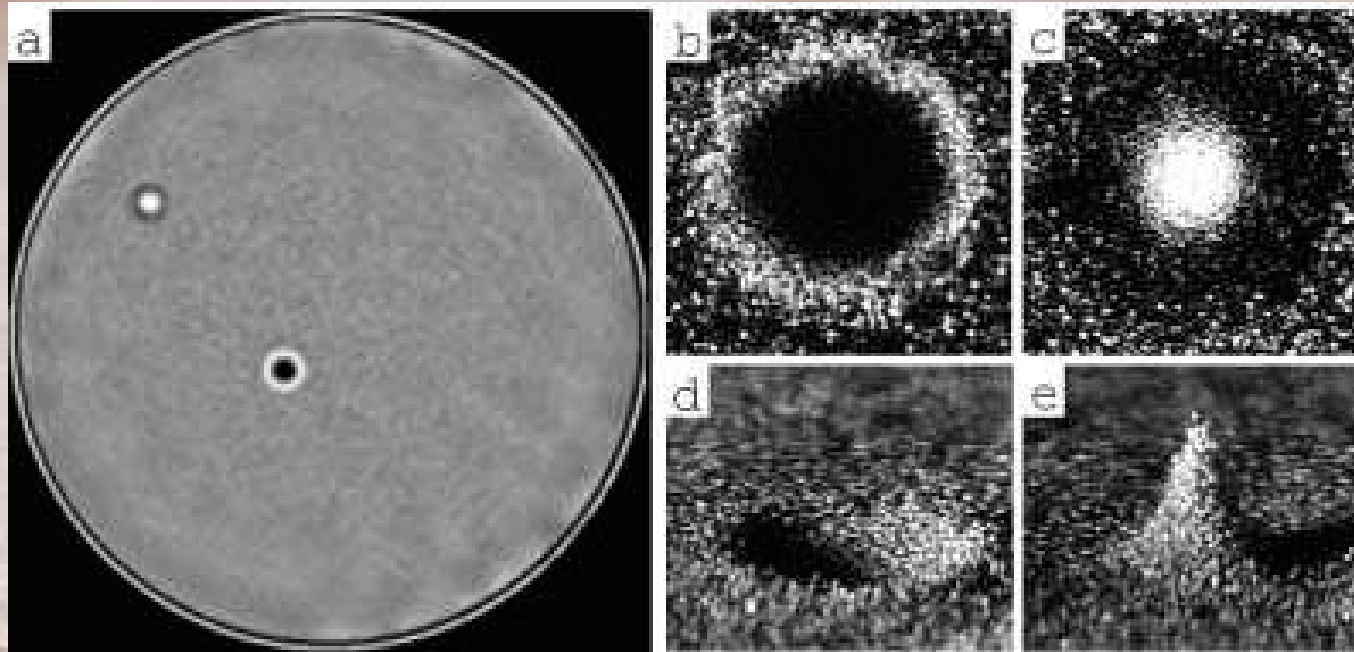


versengő
fázisok

Kísérleti eredmények

Nem periodikus mintázatok:

Oszcillonok:



Kísérleti eredmények

Nem periodikus mintázatok:

Oszcillonok:

Tulajdonságok:

- $f/2$ frekvencia
- $N > 13$, $\Gamma \approx 2.4$ esetén alakulnak ki
- Γ növelésével rácsba rendeződnek

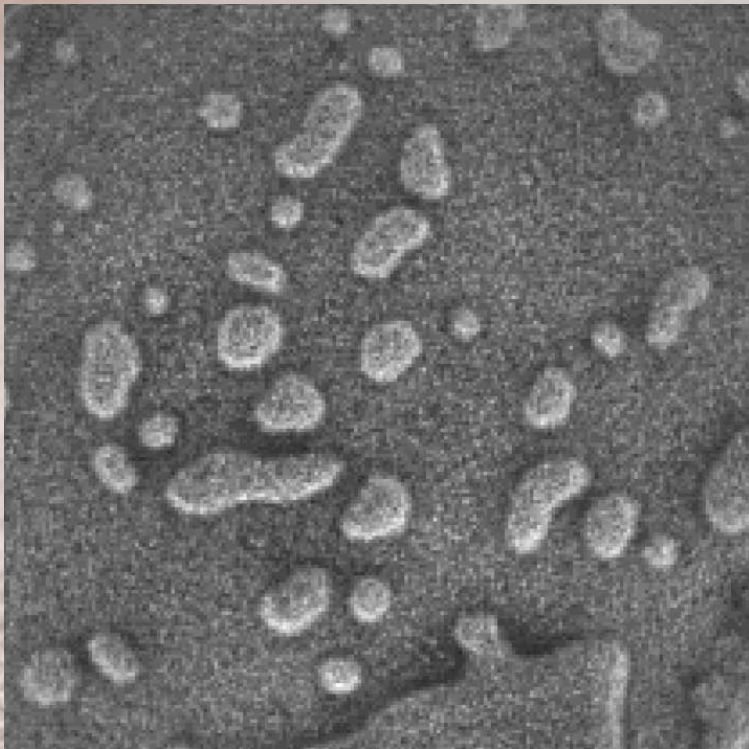


átmenet a periodikus
mintázatok felé

Kísérleti eredmények

Nem periodikus mintázatok:

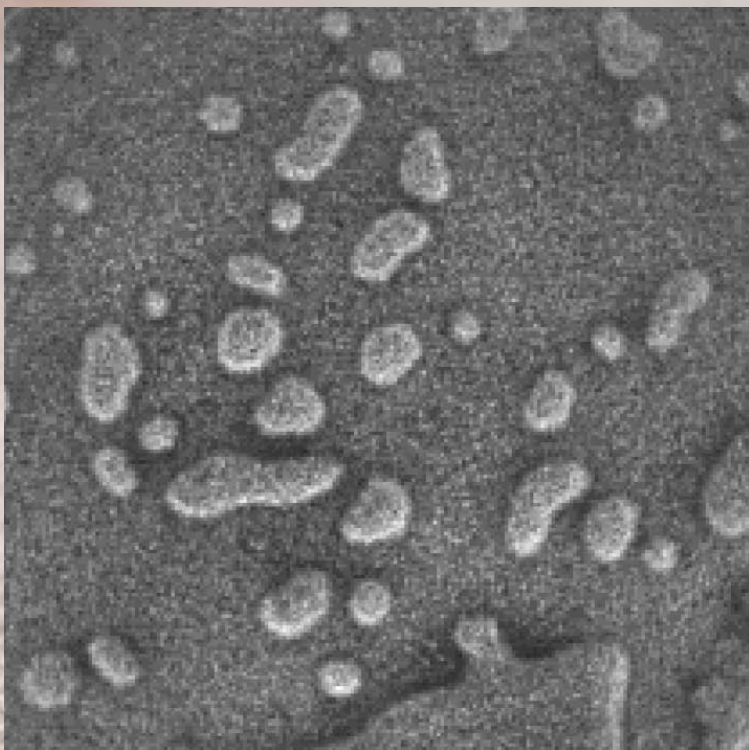
„Phase Bubbles“:



Kísérleti eredmények

Nem periodikus mintázatok:

„Phase Bubbles”:



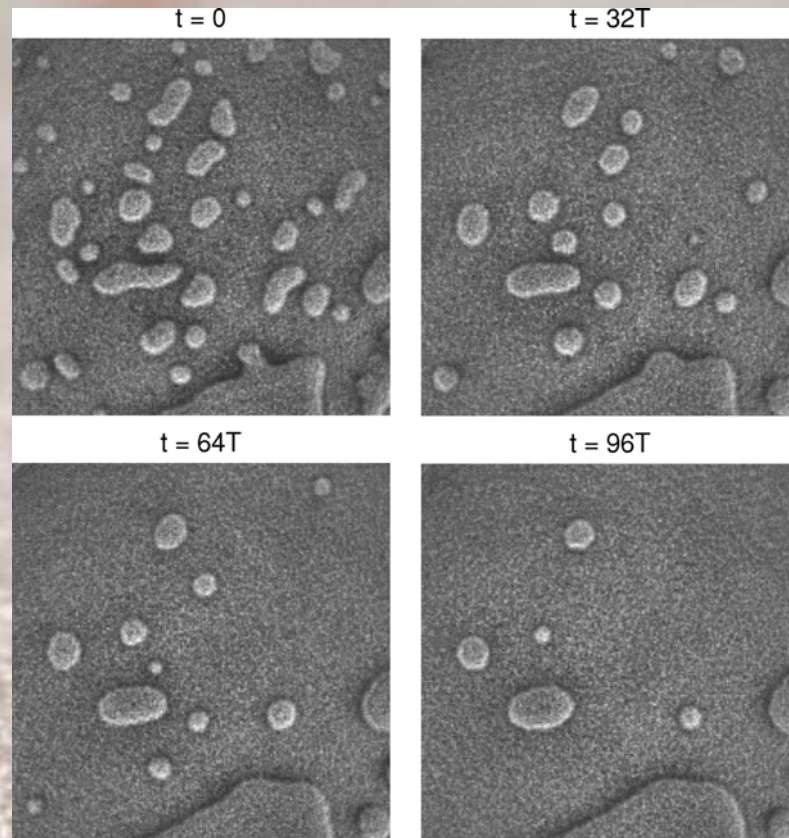
Tulajdonságok:

- folyadékcseppekhez hasonló viselkedés;
- Γ hirtelen változtatásával is létrehozhatóak

Kísérleti eredmények

Nem periodikus mintázatok:

„Phase Bubbles“:



Tulajdonságok:

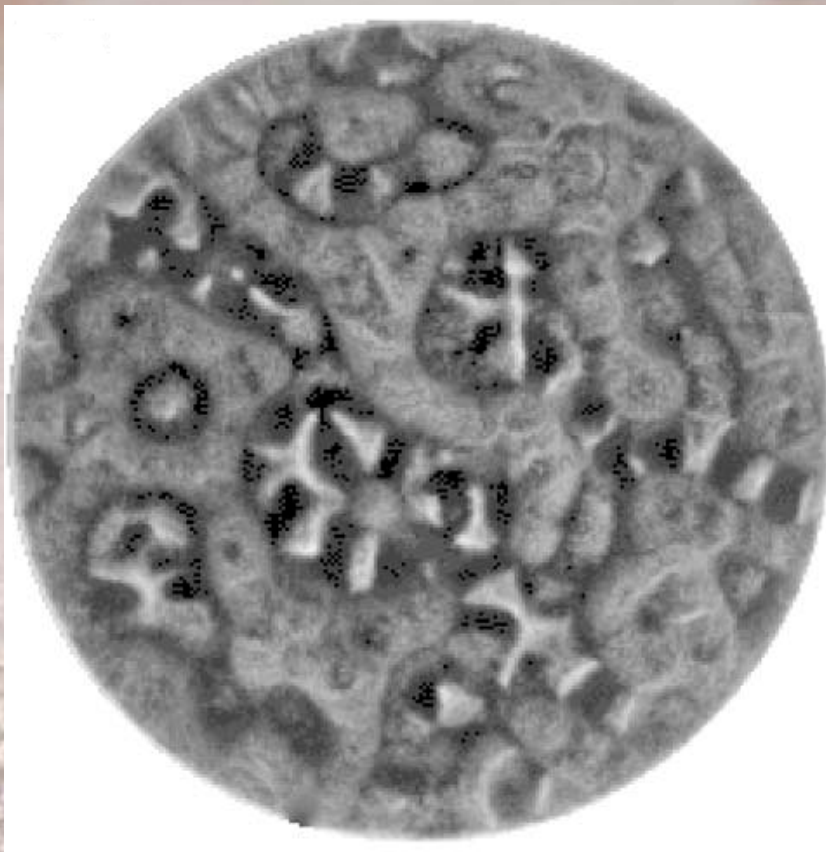
- folyadékcseppekhez hasonló viselkedés;

- Γ hirtelen változtatásával is létrehozhatóak

Kísérleti eredmények

Nem periodikus mintázatok:

„Labirintusok”:



Érzékeny a
kezdőfeltételekre, a
mintázat nem
reprodukálható

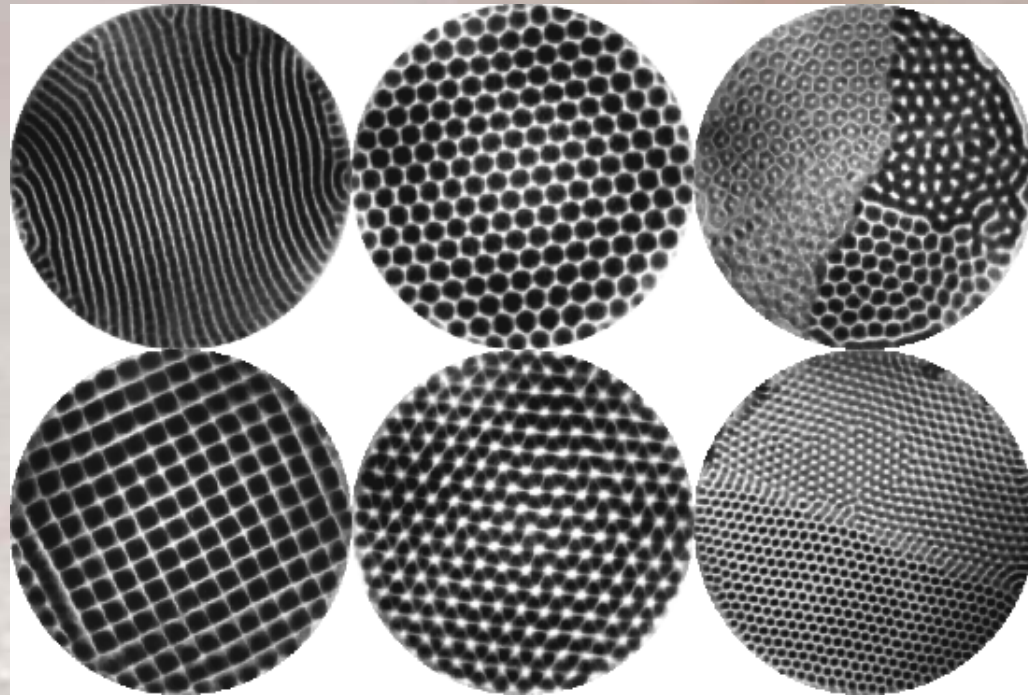


kaotikus viselkedés

Kísérleti eredmények

Fázisok elkülönítése:

- Vizuálisan;

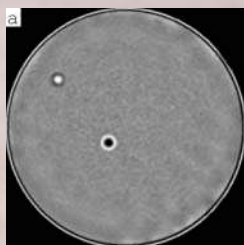


Kísérleti eredmények

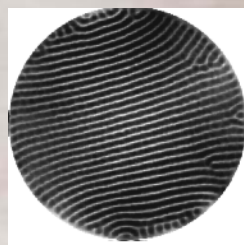
Fázisok elkülönítése:

- Vizuálisan;

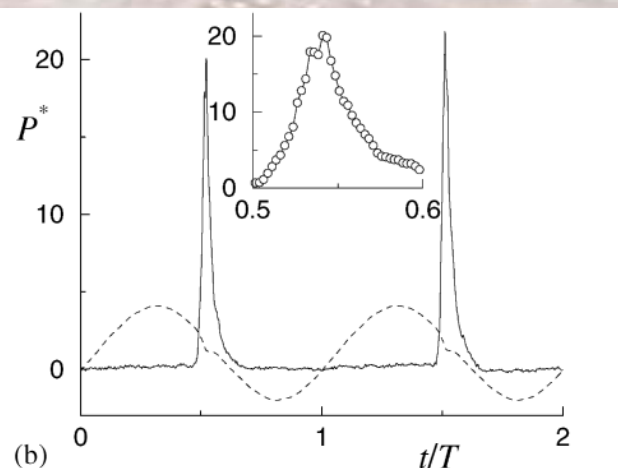
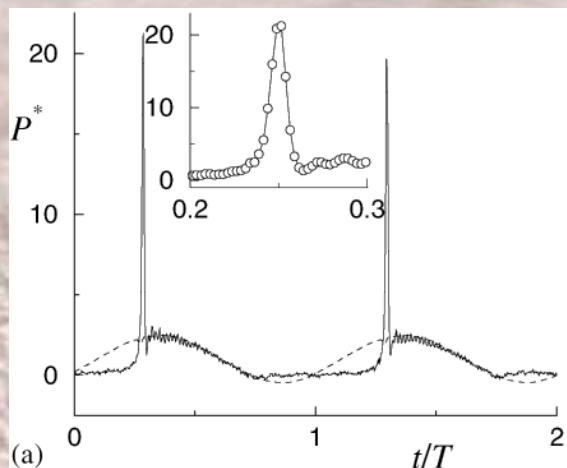
- Nyomás időfüggése: $P^* = \frac{P}{\rho g H}$



$\Gamma=1.5$



$\Gamma=3.1$

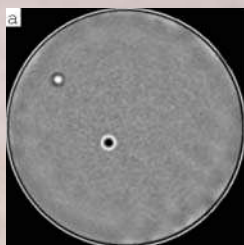


Kísérleti eredmények

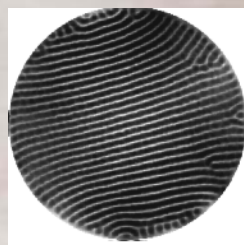
Fázisok elkülönítése:

- Vizuálisan;

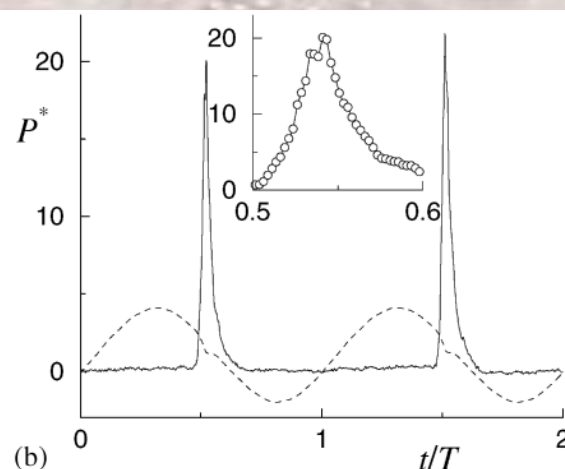
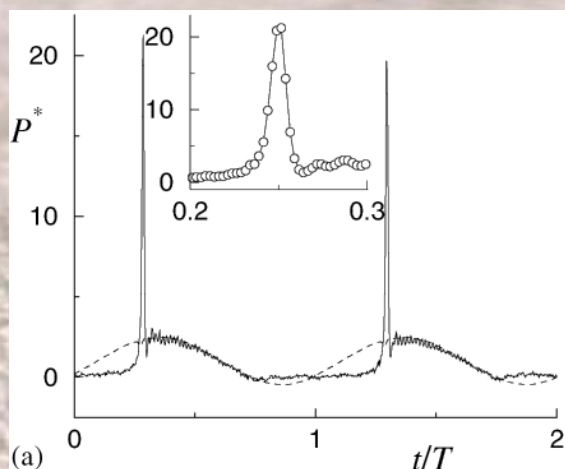
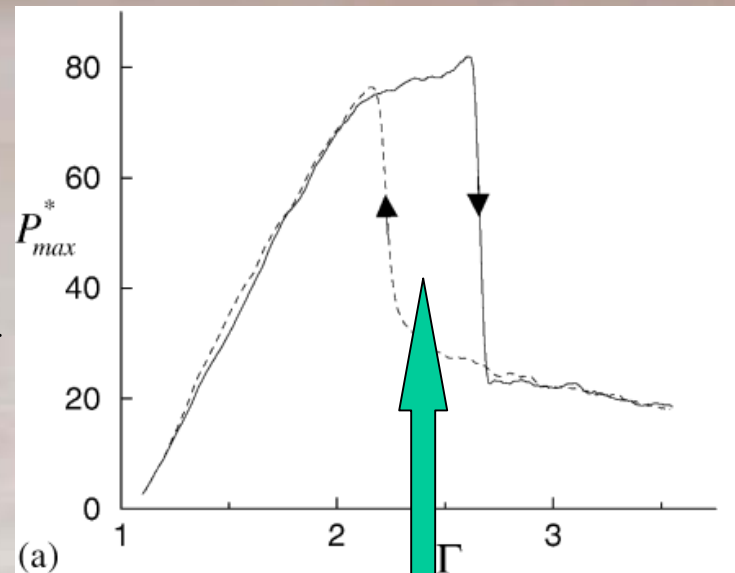
- Nyomás időfüggése: $P^* = \frac{P}{\rho g H}$



$\Gamma=1.5$



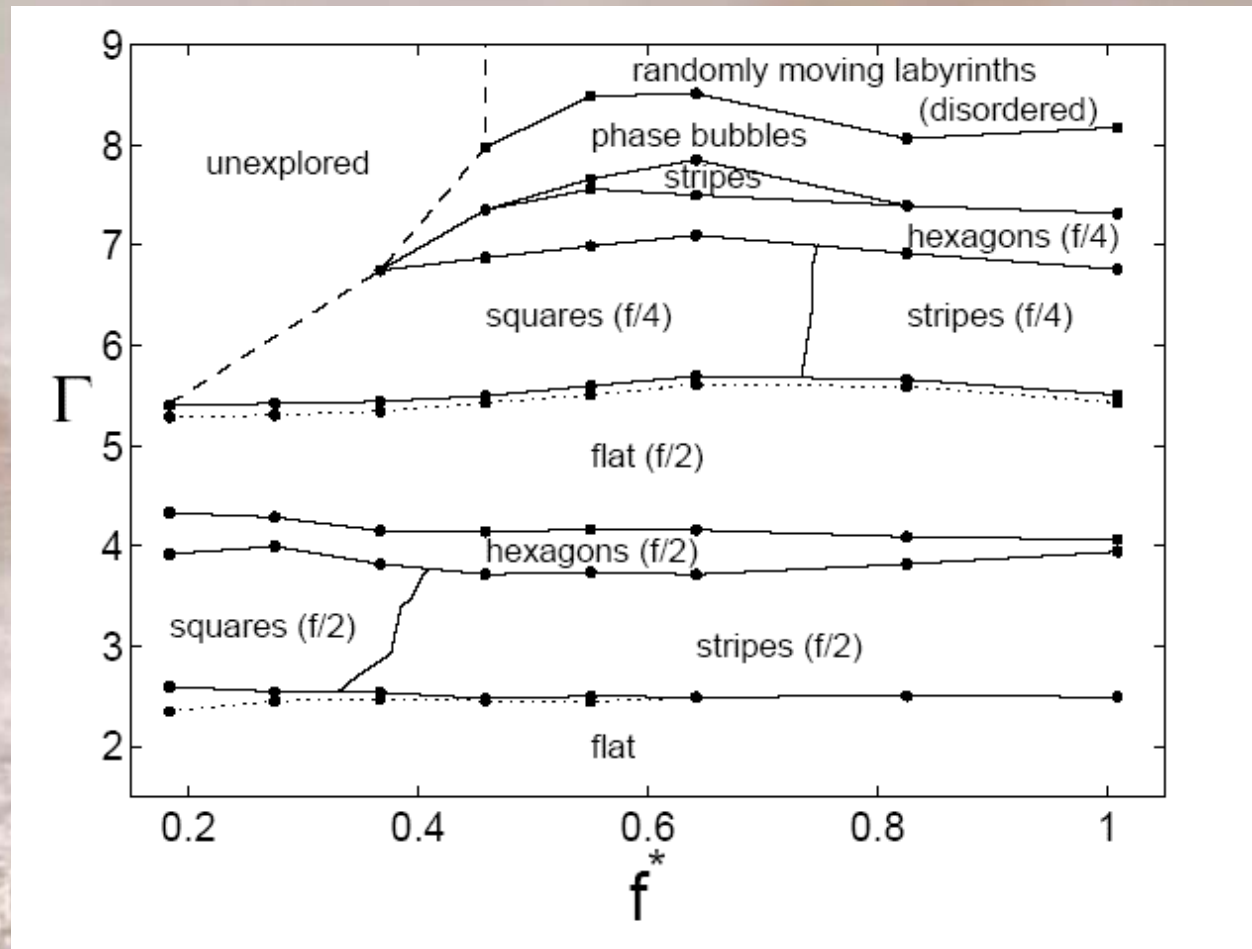
$\Gamma=3.1$



Fázisátalakulás
hiszterézissel

Kísérleti eredmények

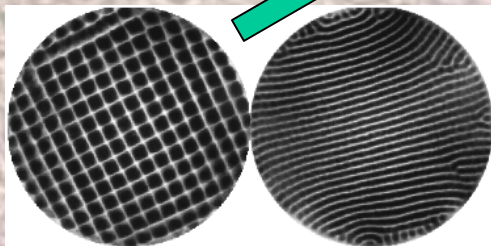
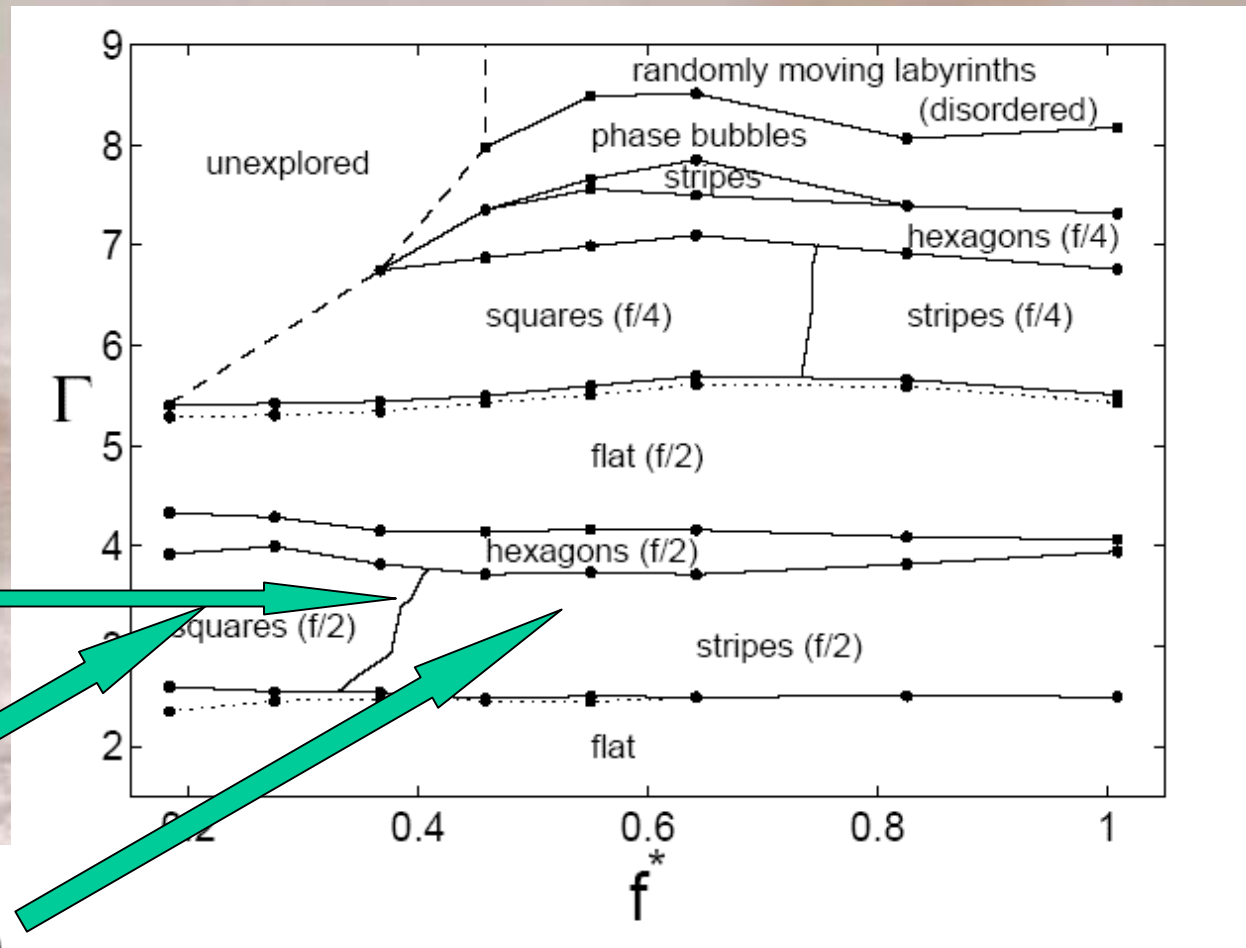
Fázisdiagram:



Kísérleti eredmények

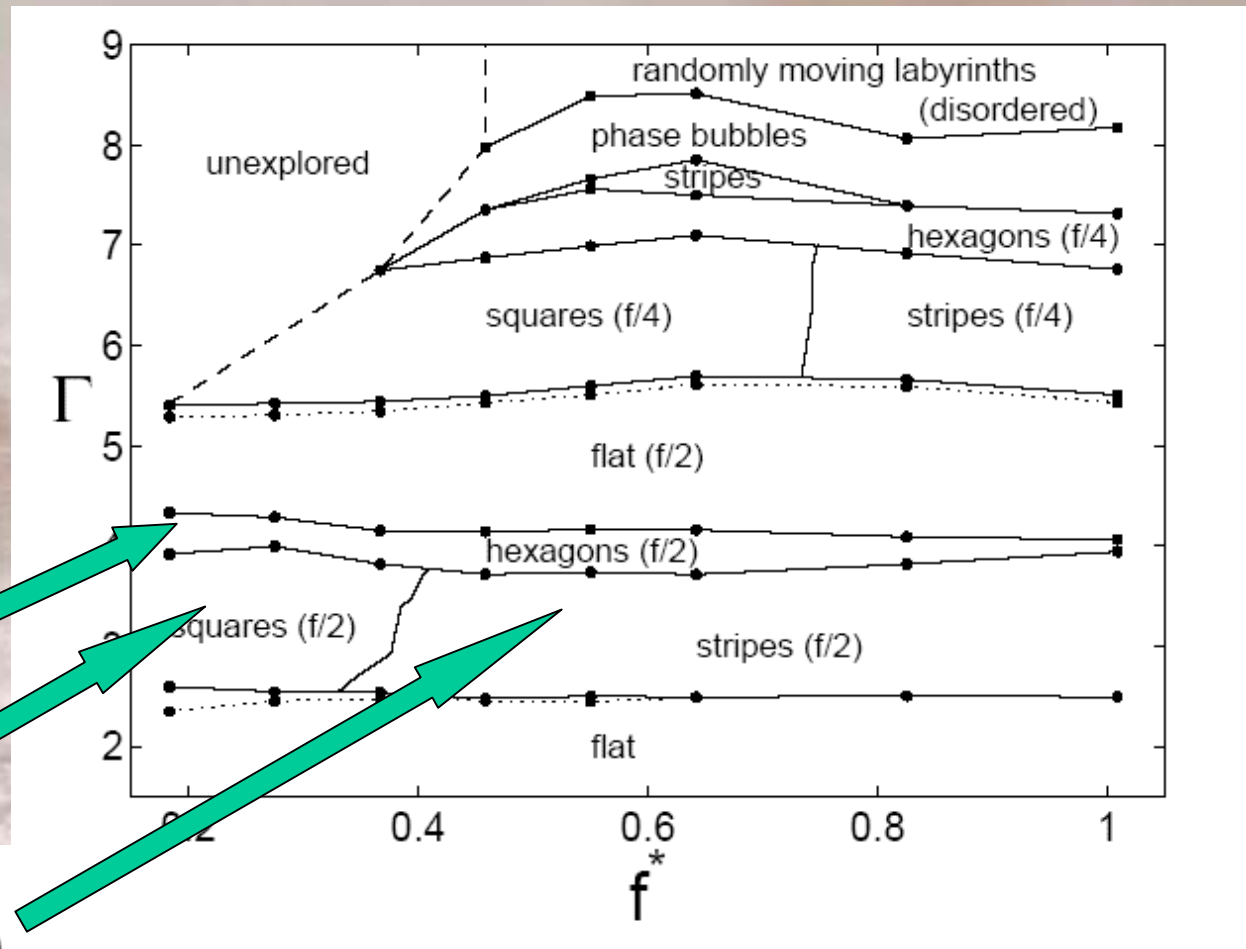
Fázisdiagram:

$f_{SS}^* = 0.33$



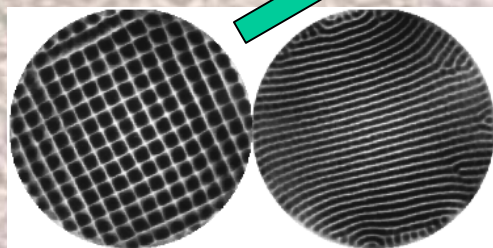
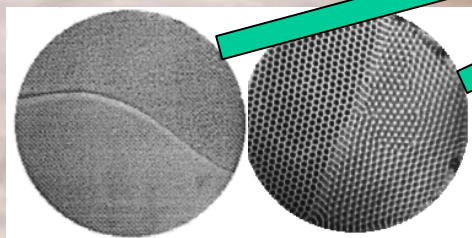
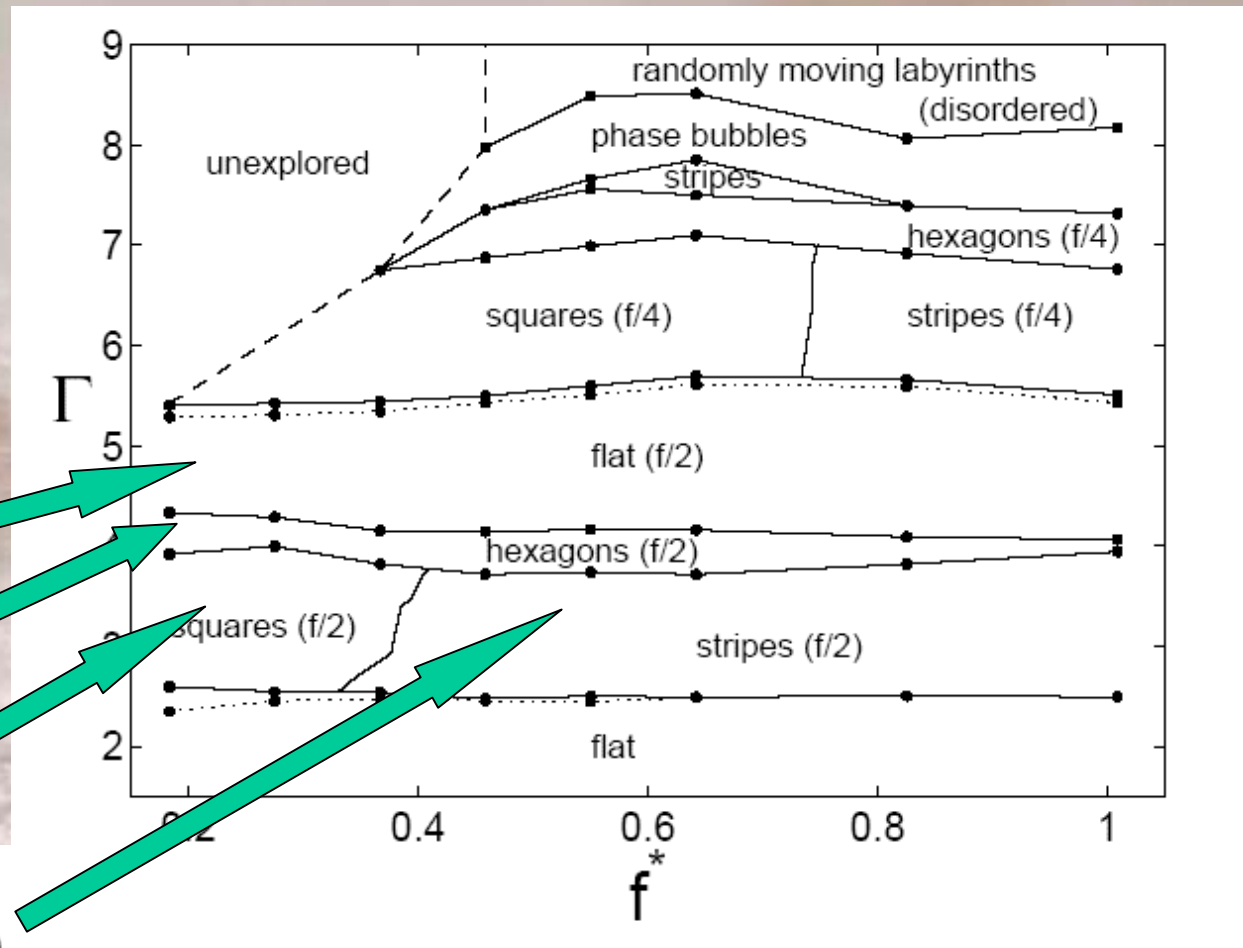
Kísérleti eredmények

Fázisdiagram:



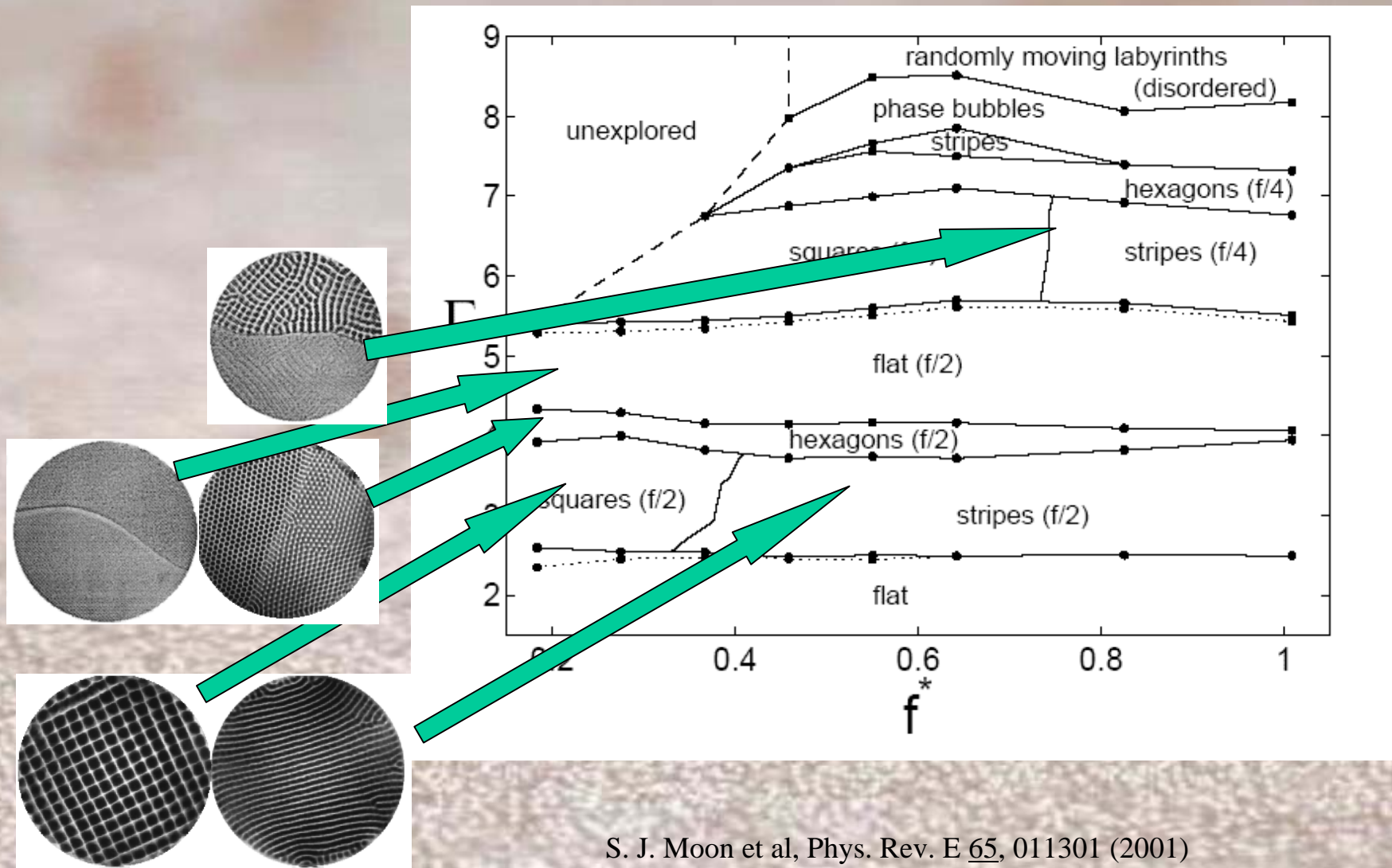
Kísérleti eredmények

Fázisdiagram:



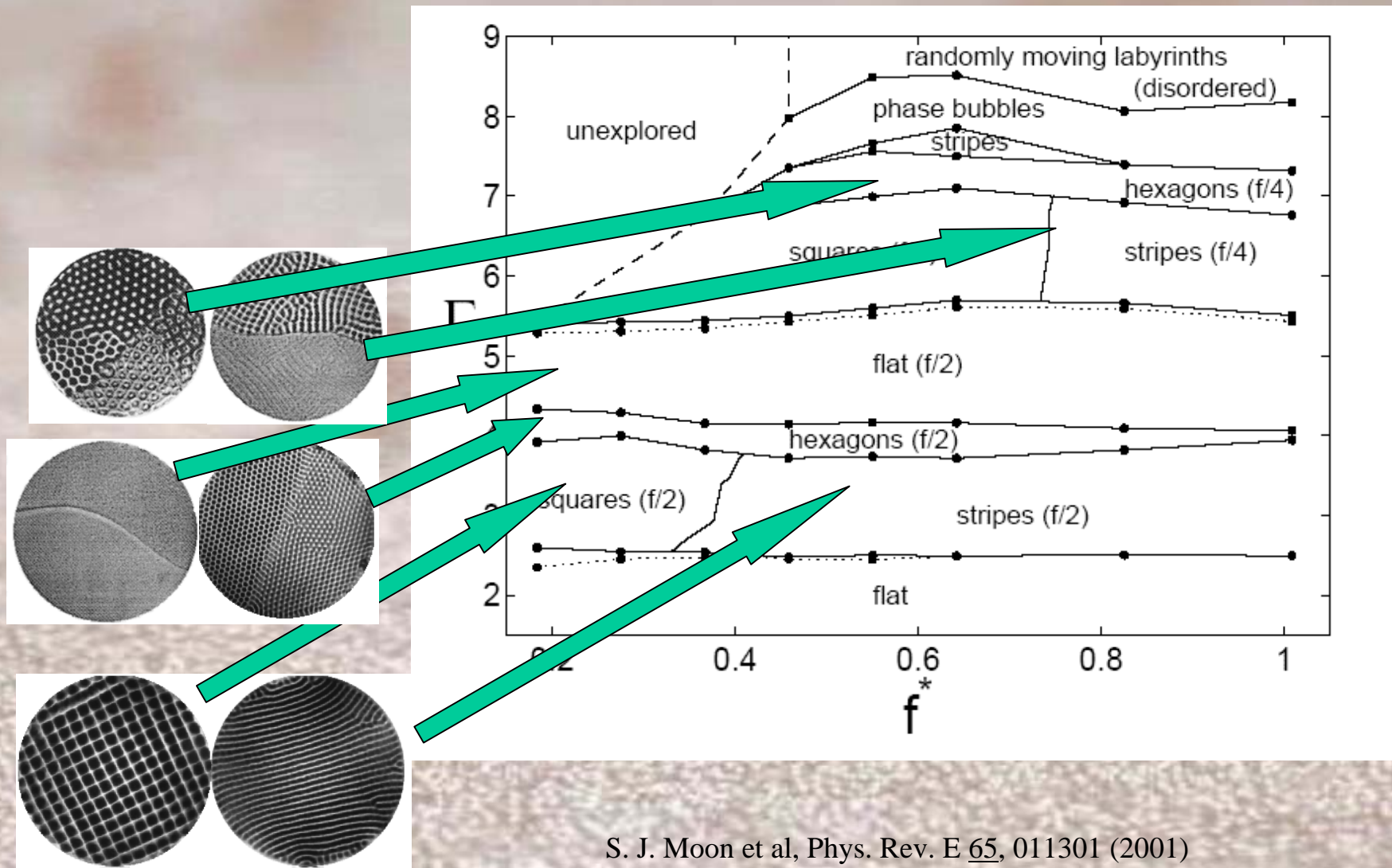
Kísérleti eredmények

Fázisdiagram:



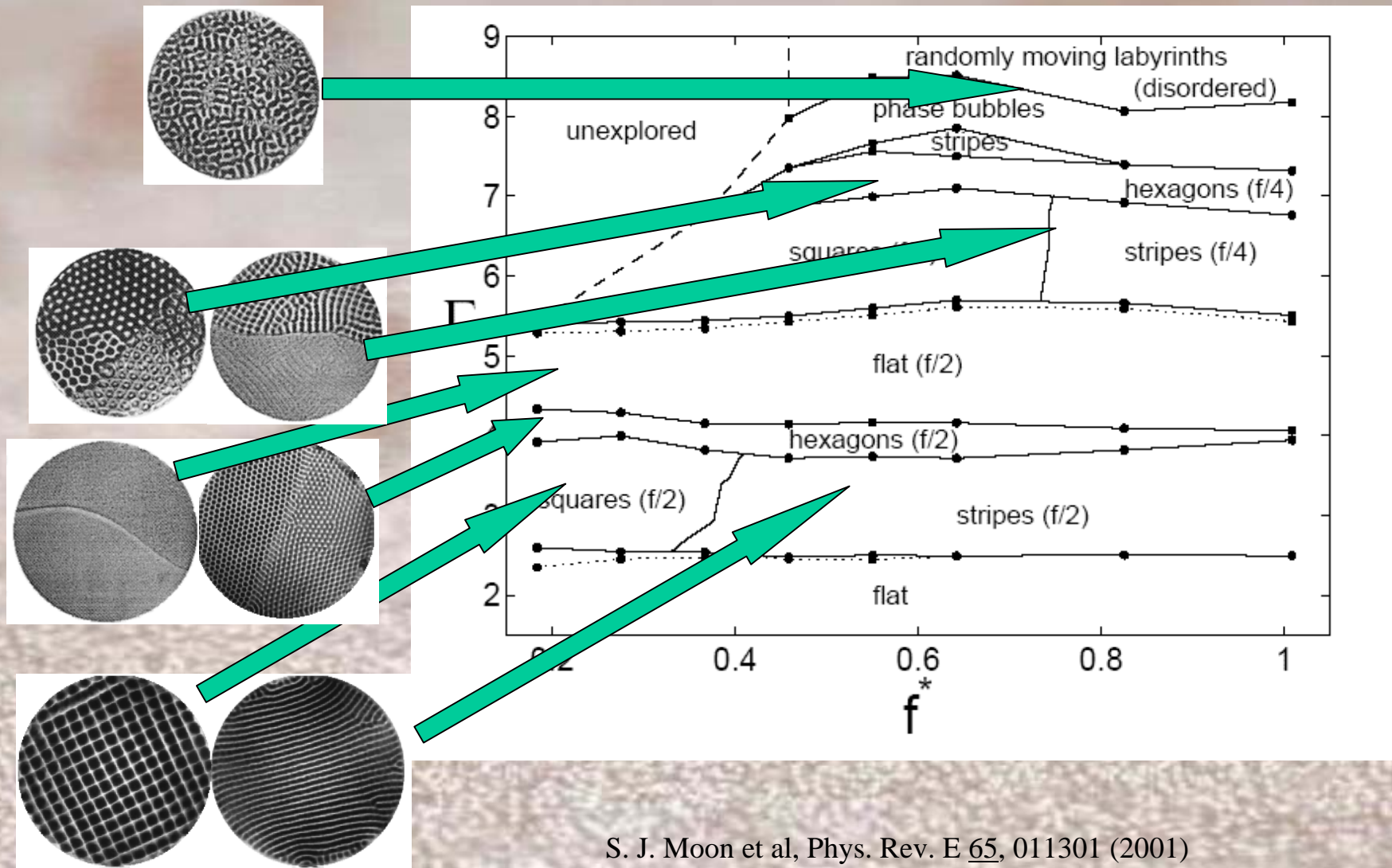
Kísérleti eredmények

Fázisdiagram:



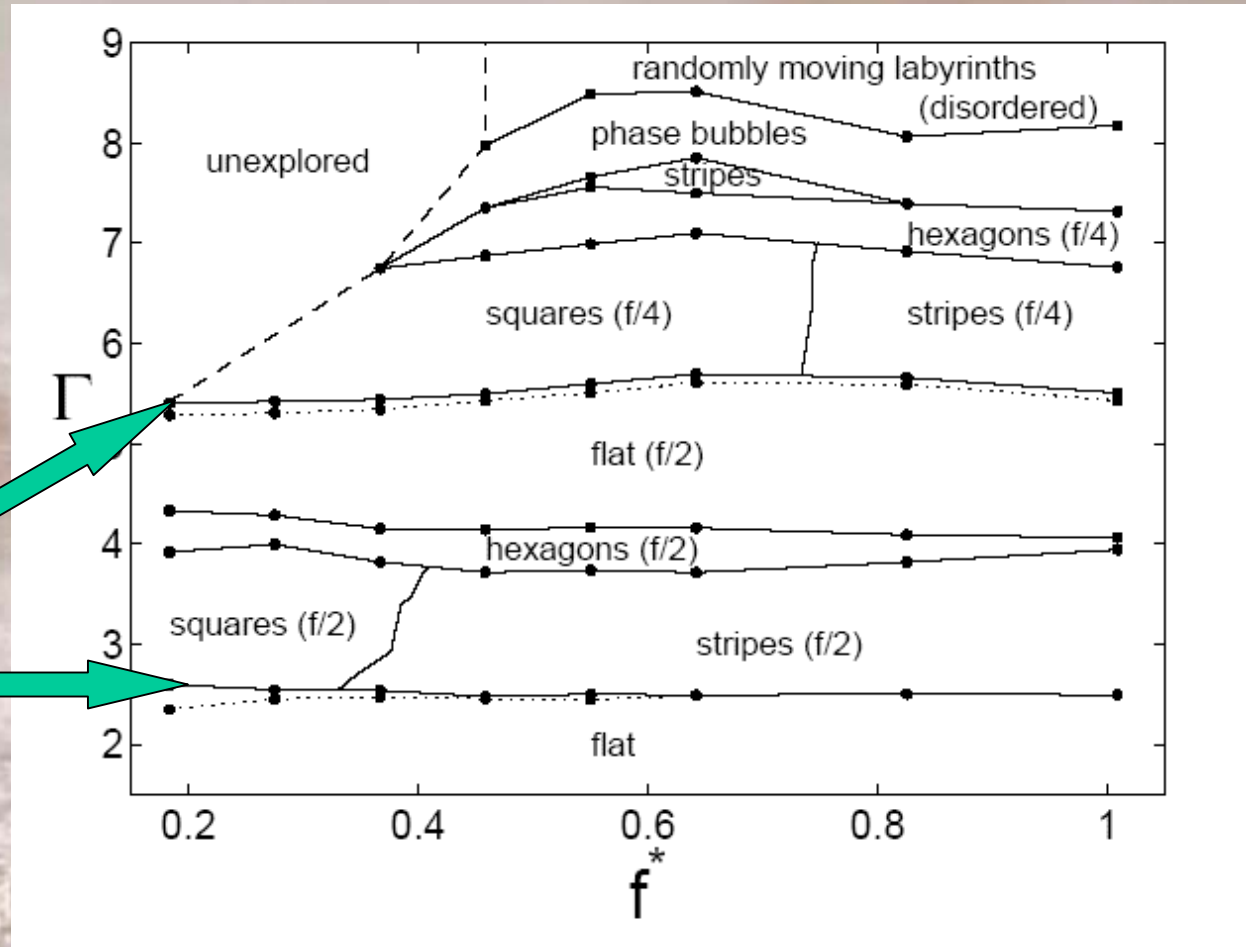
Kísérleti eredmények

Fázisdiagram:



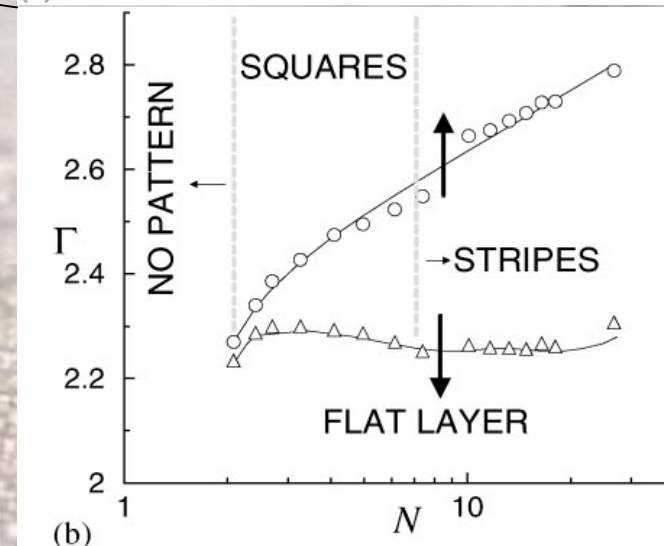
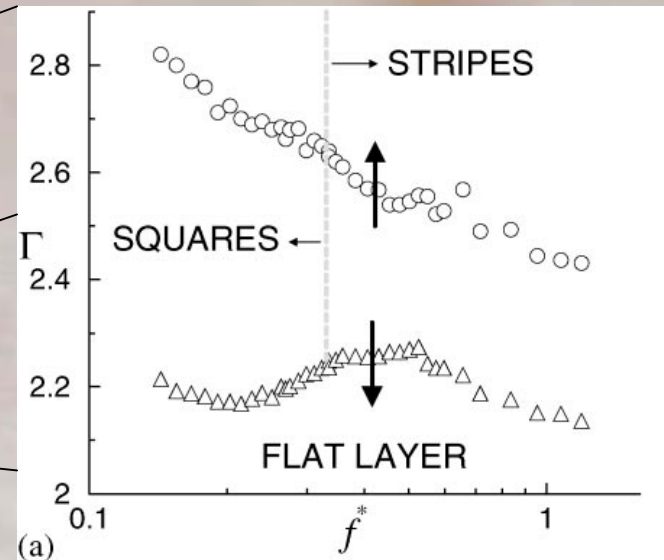
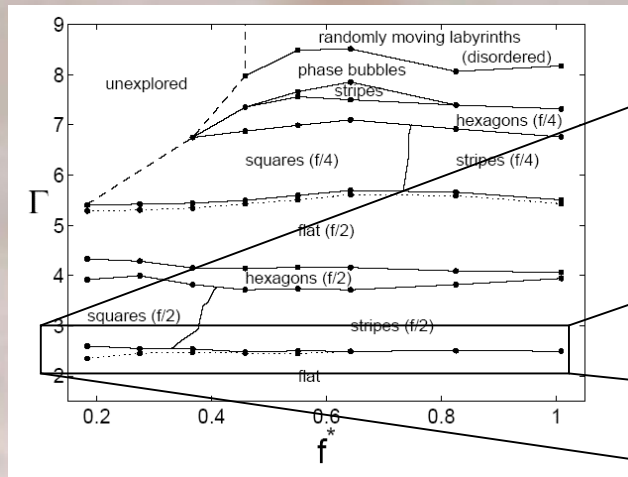
Kísérleti eredmények

Fázisdiagram:



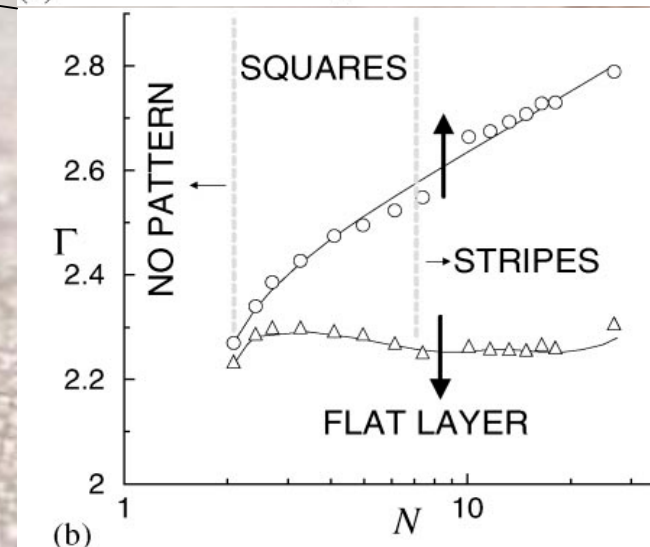
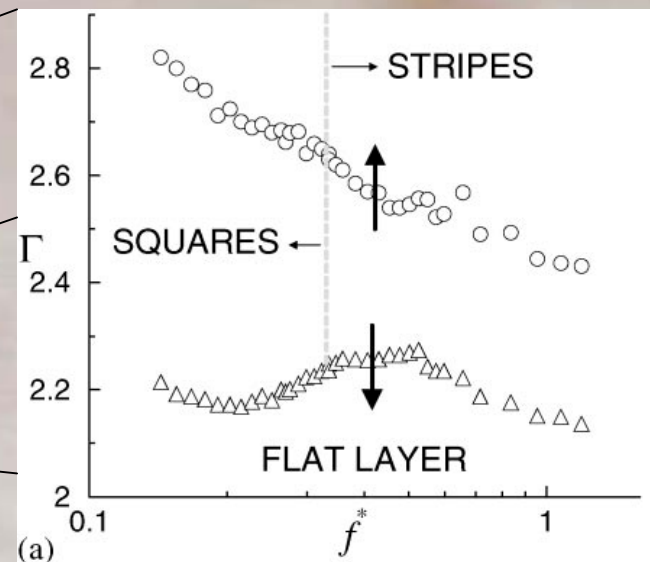
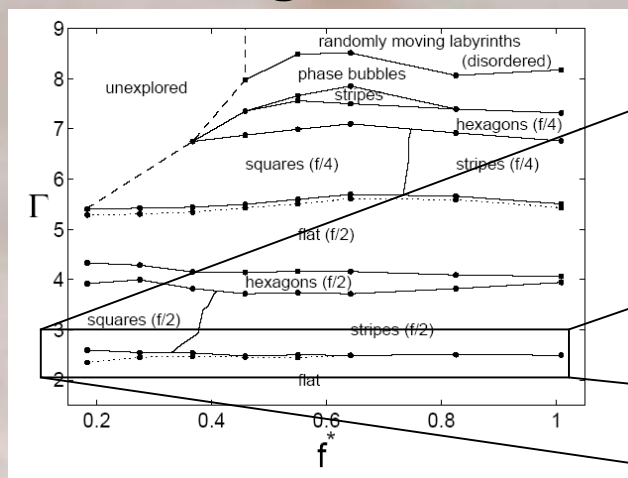
Kísérleti eredmények

Fázisdiagram:



Kísérleti eredmények

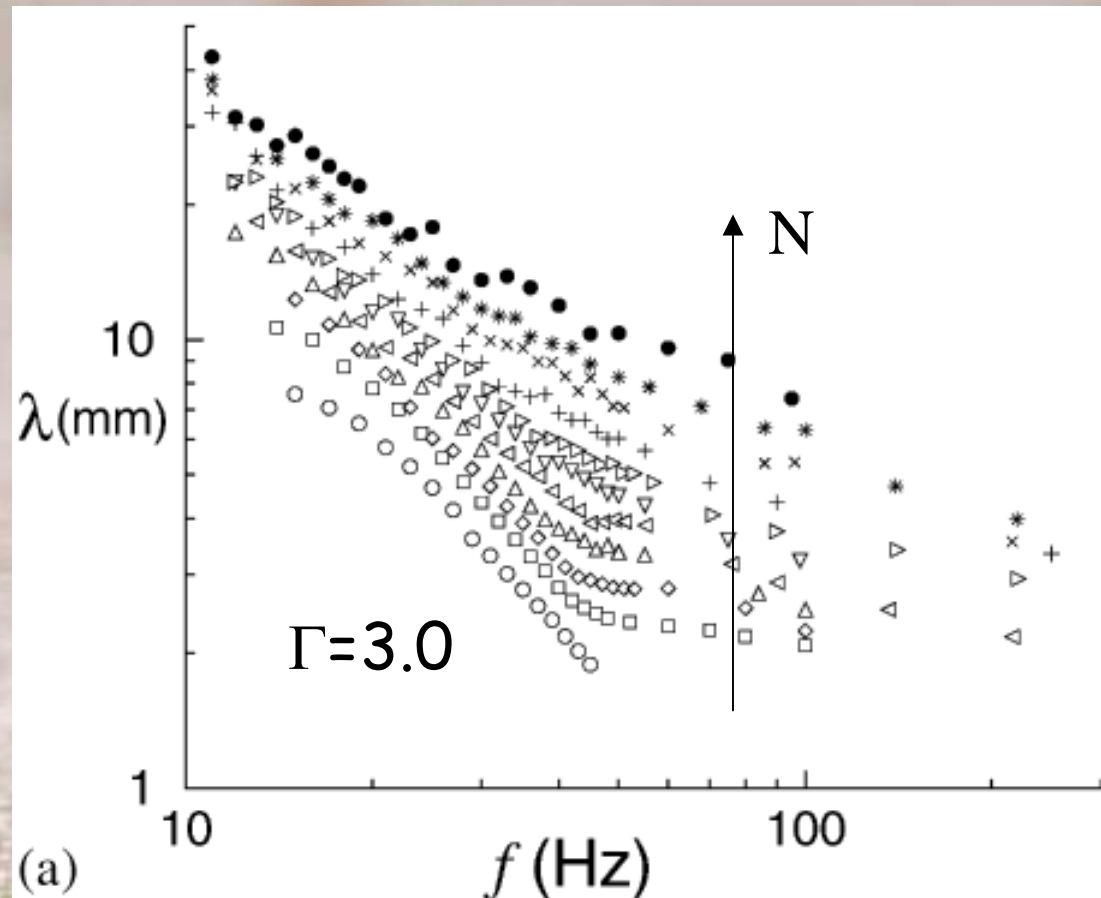
Fázisdiagram:



- $\Gamma_{C\downarrow} \approx \text{konst.}$
- $\Gamma_{C\uparrow}$ nem univerzális
- $N_{\min} \approx 2$ bronz golyókra

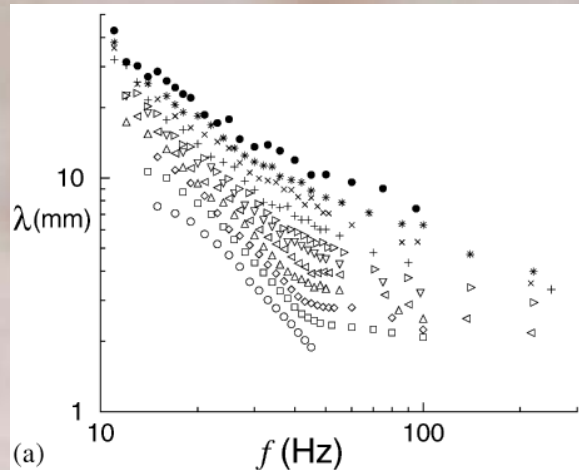
Kísérleti eredmények

Diszperziós reláció:



Kísérleti eredmények

Diszperziós reláció:



Skálázás motivációja:

Nehézségi hullám sekély ($H \ll \lambda$)
folyadékokban:

$$c = \sqrt{gH}$$

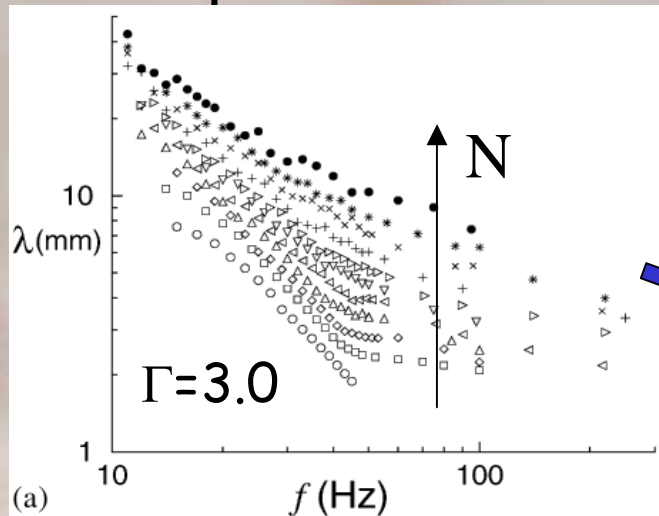
$$\frac{\lambda}{H} = \frac{1}{f} \sqrt{\frac{g}{H}}$$

$$\lambda^* = \frac{1}{f^*}$$

dimenziótlanítva

Kísérleti eredmények

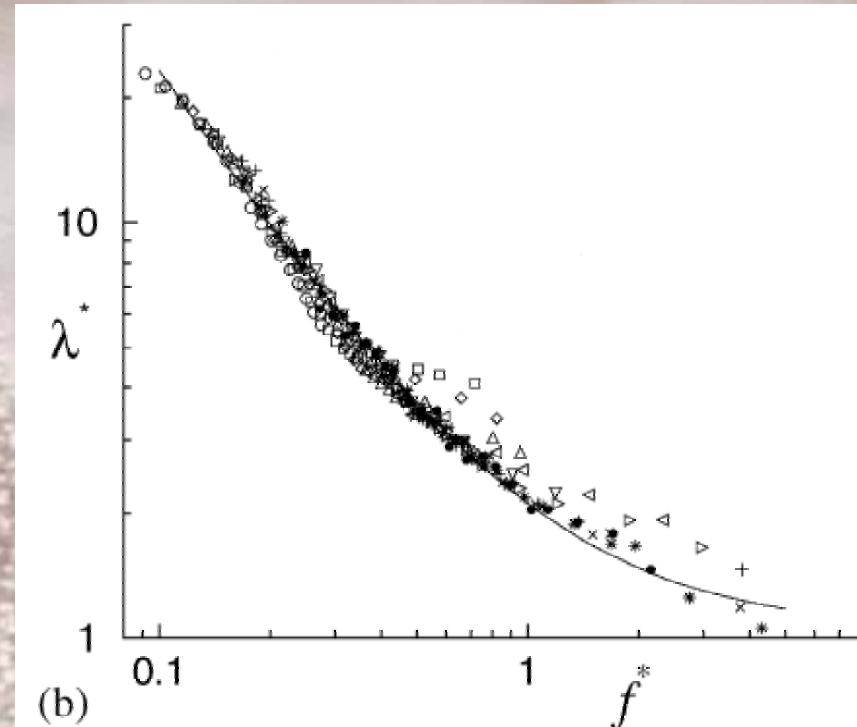
Diszperziós reláció:



$$\lambda^* = 1.0 + 1.1 f^{*-1.32}$$

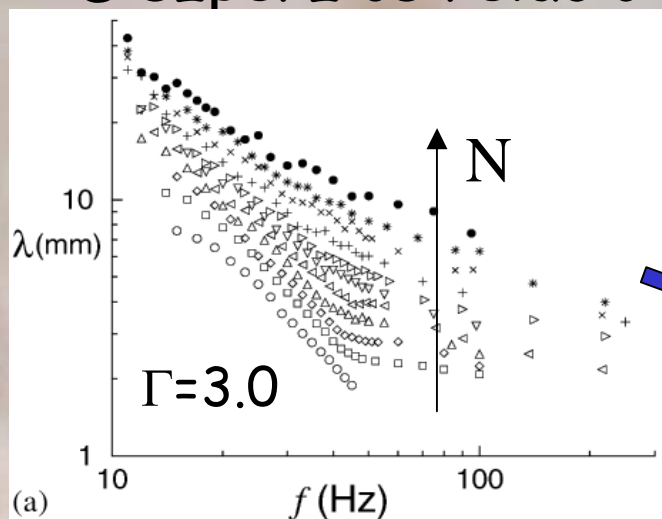
A teljes megfigyelt
tartományban univerzális!

$$N = 2.2 \dots 31$$

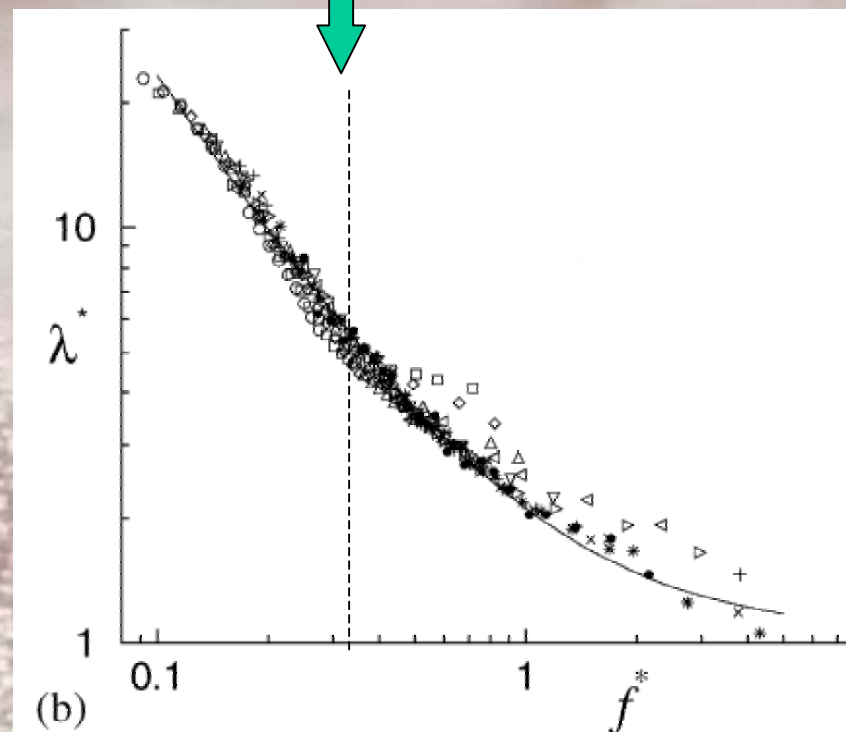


Kísérleti eredmények

Diszperziós reláció:



f_{ss}^* -nál nem látszik változás



$$\lambda^* = 1.0 + 1.1 f^{*-1.32}$$

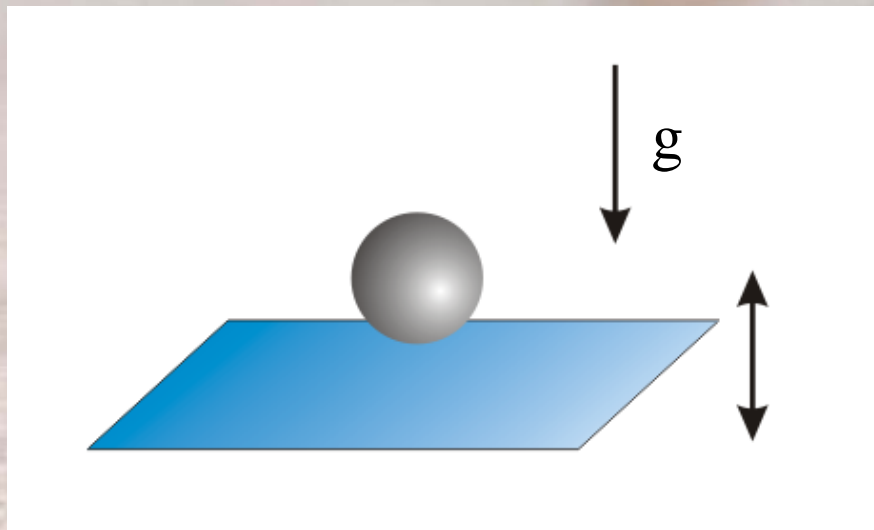
A teljes megfigyelt
tartományban univerzális!

$$N = 2.2 \dots 31$$

Elméleti megfontolások

Modell:

Rugalmatlan golyó rezgő lapon gravitációs térben



$$z(t) = A \sin(\omega t)$$

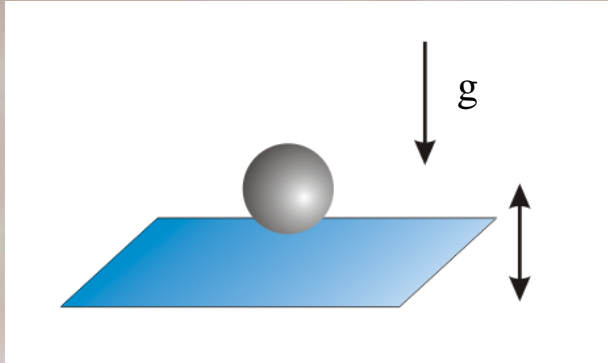
$$a(t) = -\Gamma g \sin(\omega t)$$

$\Gamma < 1$ esetén a labda a lappal mozog



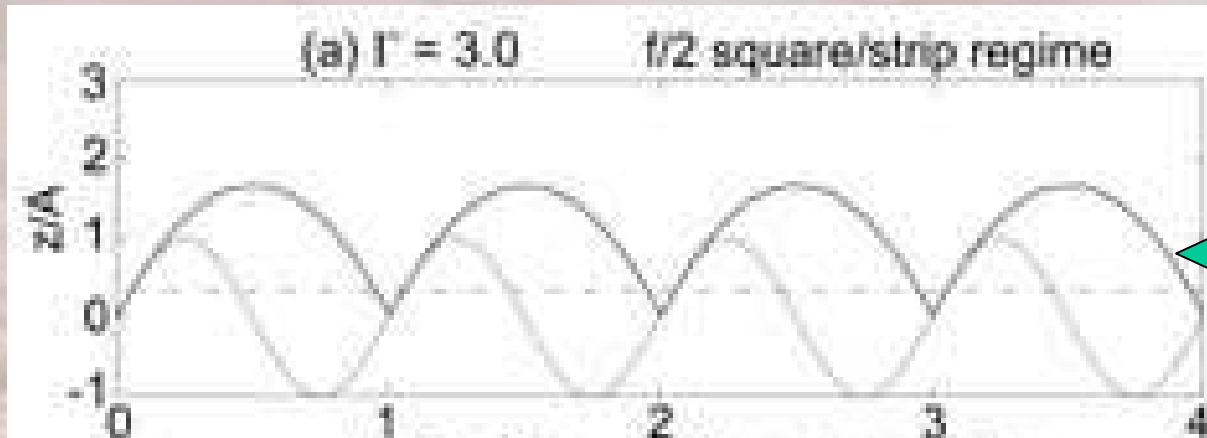
$\Gamma > 1$ tartomány érdekes!

Elméleti megfontolások



$$z(t) = A \sin(\omega t)$$

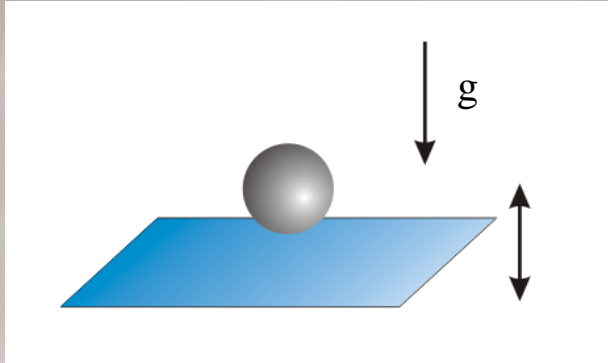
$$a(t) = -\Gamma g \sin(\omega t)$$



$\Gamma=1$ -nél várunk
átalakulást

A labda szabadon
esik a következő
ütközésig.

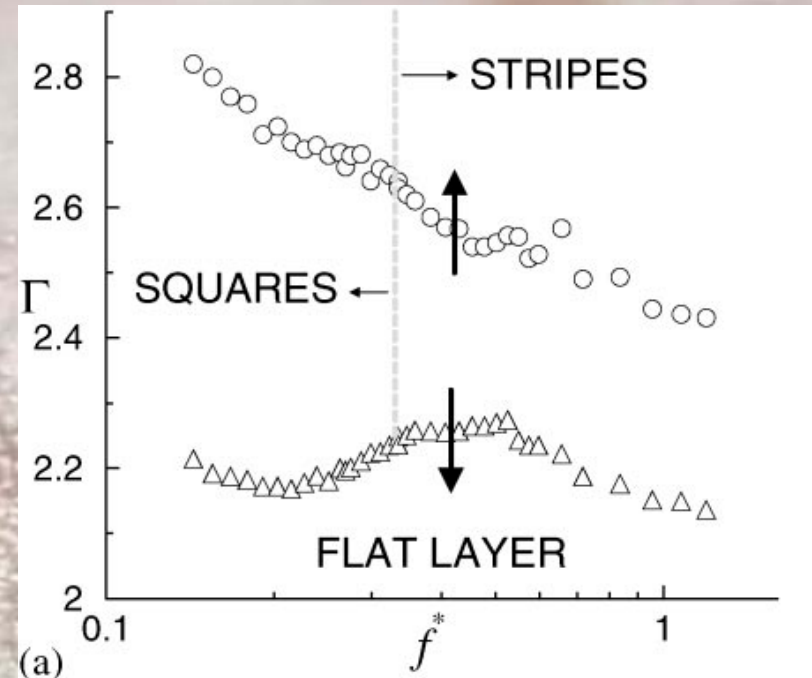
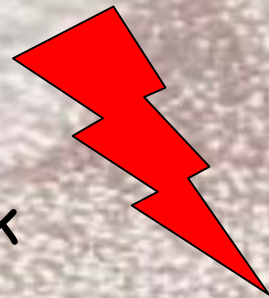
Elméleti megfontolások



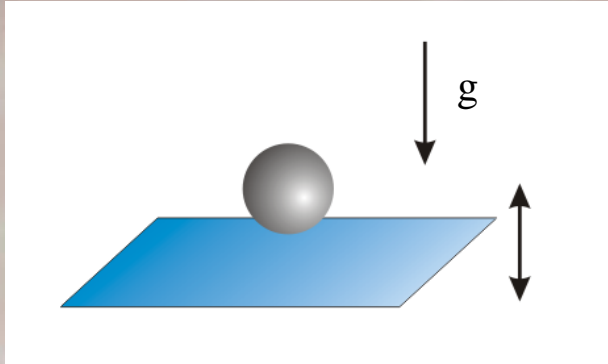
$$z(t) = A \sin(\omega t)$$

$$a(t) = -\Gamma g \sin(\omega t)$$

$\Gamma=1$ -nél várunk
átalakulást

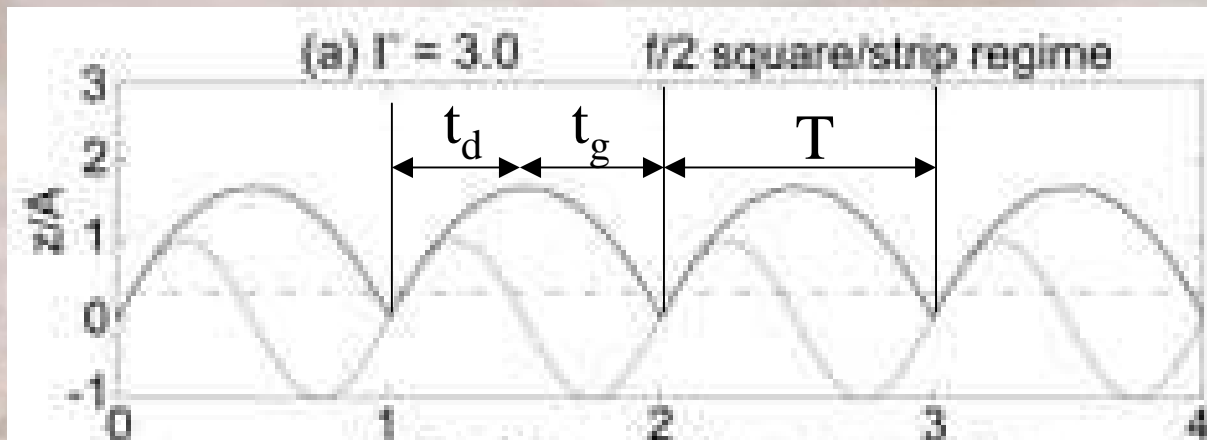
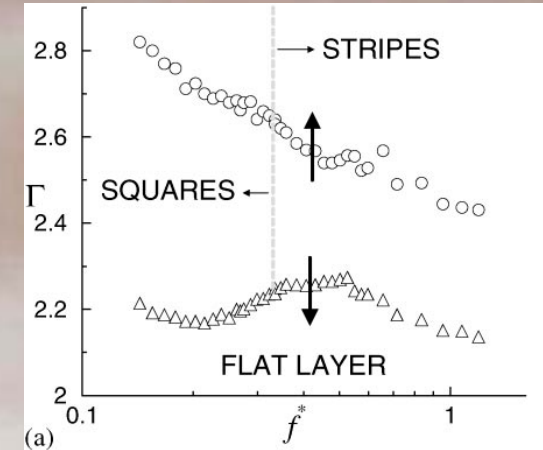


Elméleti megfontolások



$$z(t) = A \sin(\omega t)$$

$$a(t) = -\Gamma g \sin(\omega t)$$



$$t_d + t_g = T$$

Stabil mintázat feltétele:

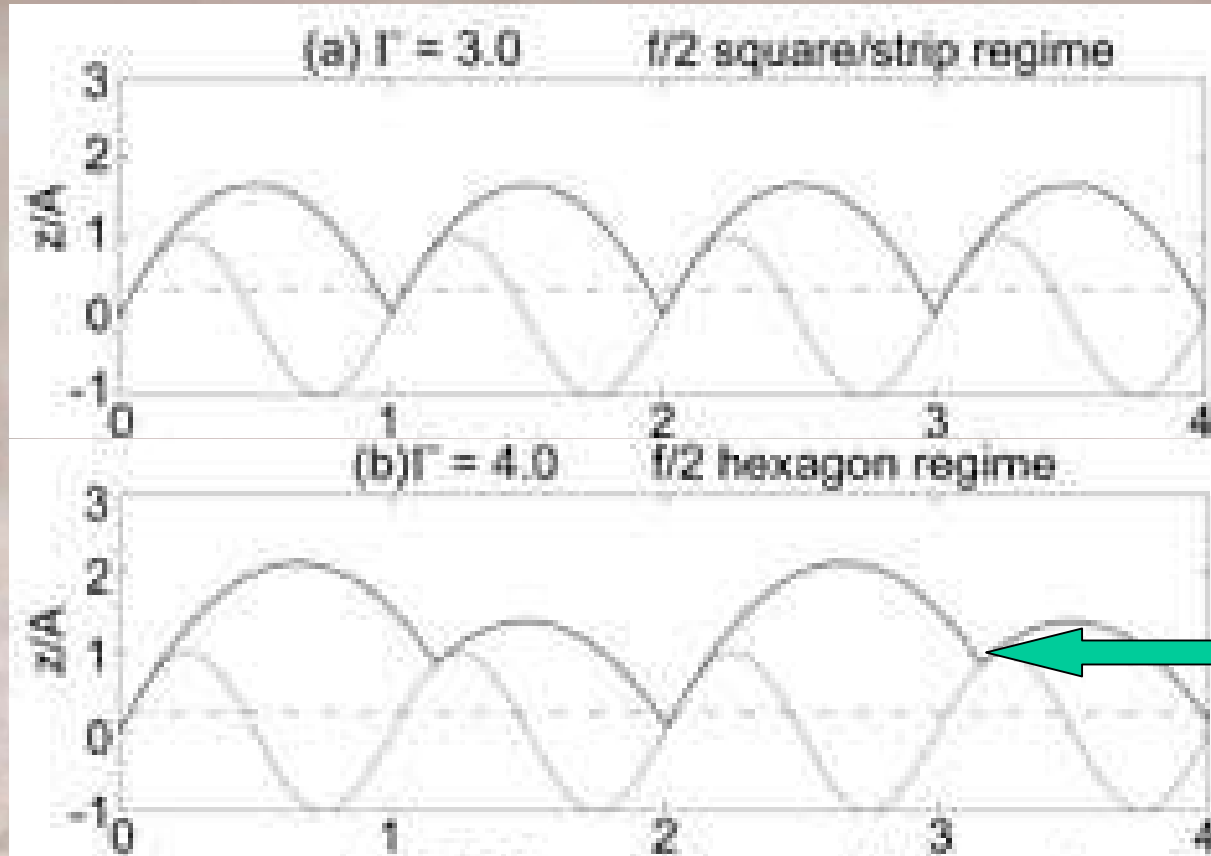
$$t_d < t_g$$



$$\Gamma_{\text{crit1}} = 2.47$$

- Γ_{crit1} független f -től;
- hiszterézis;
- az egész réteg egy fázisban mozog.

Elméleti megfontolások



$$\Gamma_{\text{crit1}} = 2.47$$

az ütközés
idején $a(t) < -g$

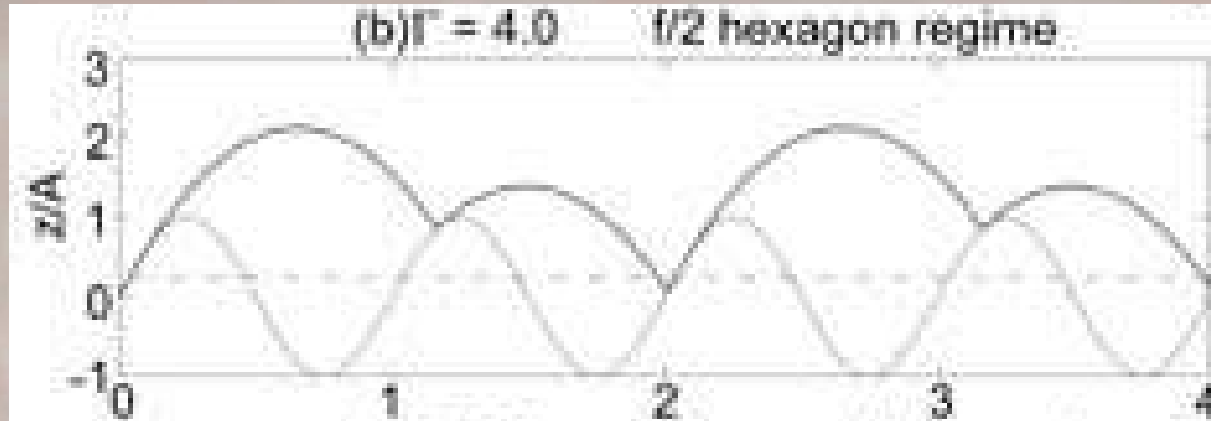
a réteg azonnal leválik

$$\Gamma_{\text{crit2}} = 3.30$$

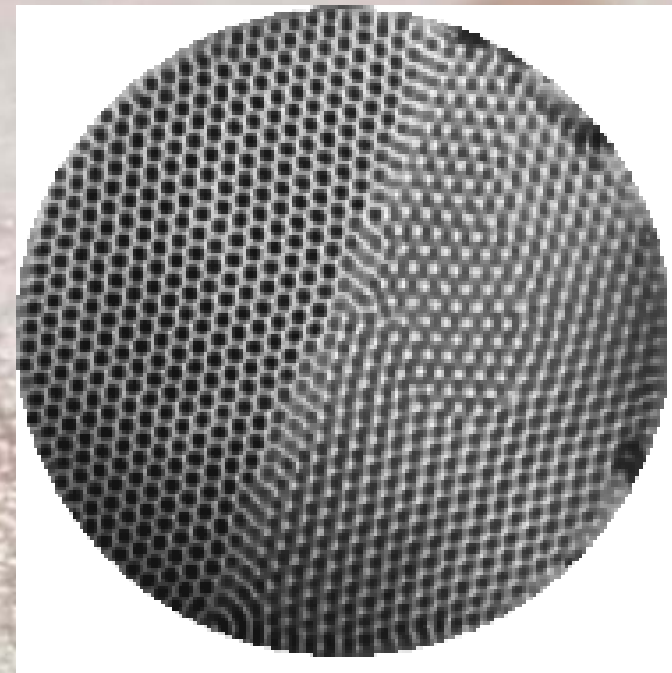
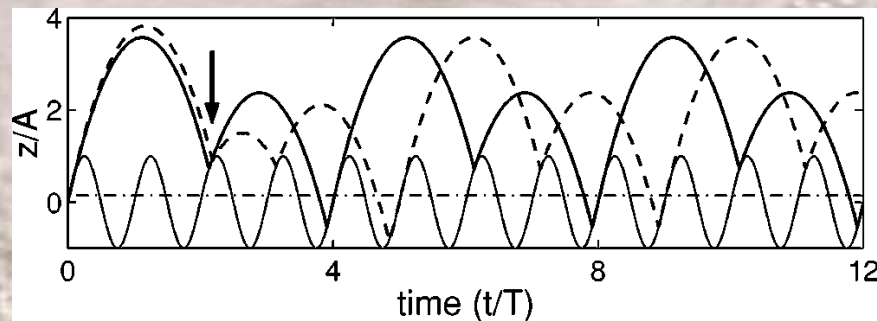
Elméleti megfontolások

$$\Gamma_{\text{crit1}} = 2.47$$

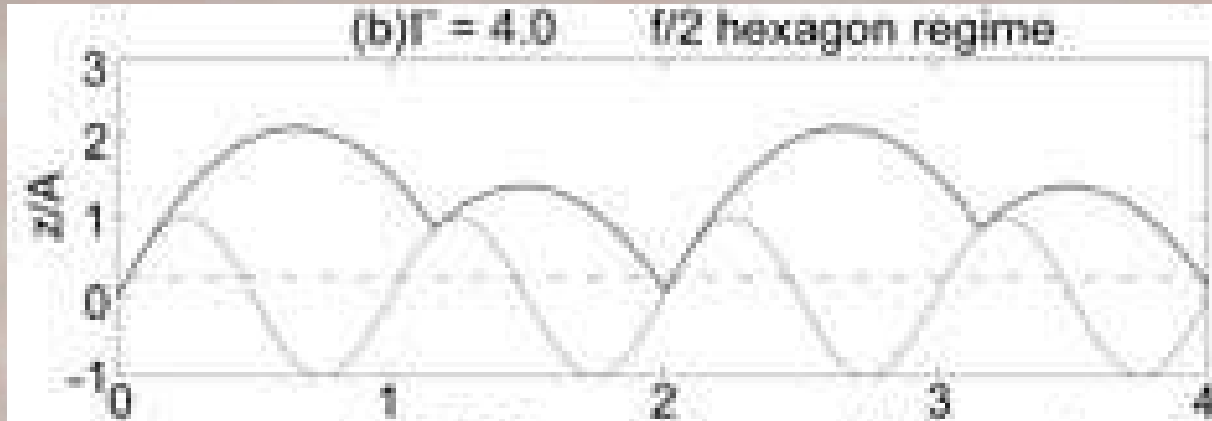
$$\Gamma_{\text{crit2}} = 3.30$$



- két időbeli fázis lehetséges



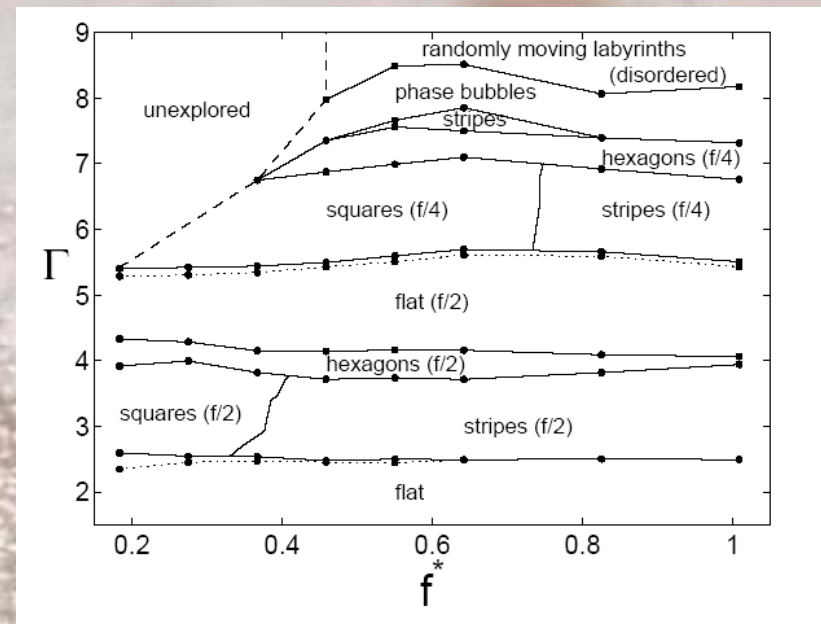
Elméleti megfontolások



$$\Gamma_{\text{crit1}} = 2.47$$

$$\Gamma_{\text{crit2}} = 3.30$$

- két időbeli fázis lehetséges
- nincs hiszterézis
(bifurkációs átalakulás)



Elméleti megfontolások

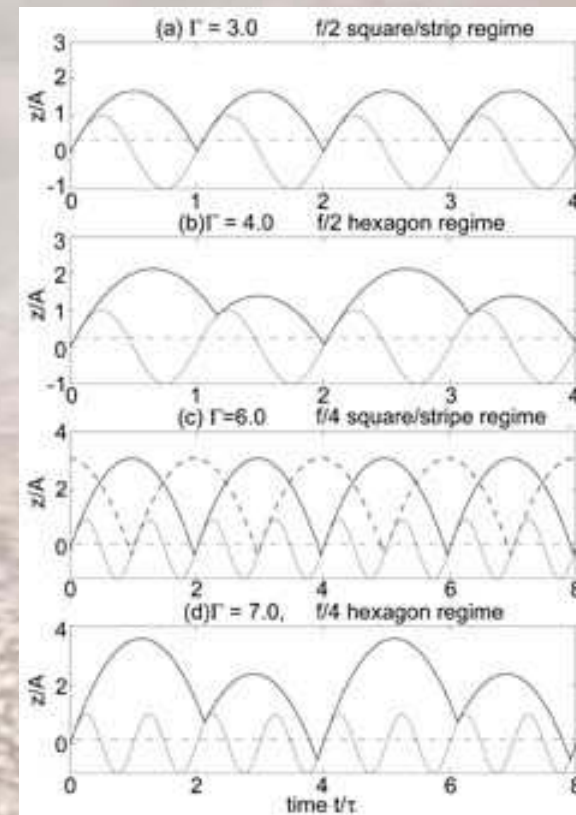
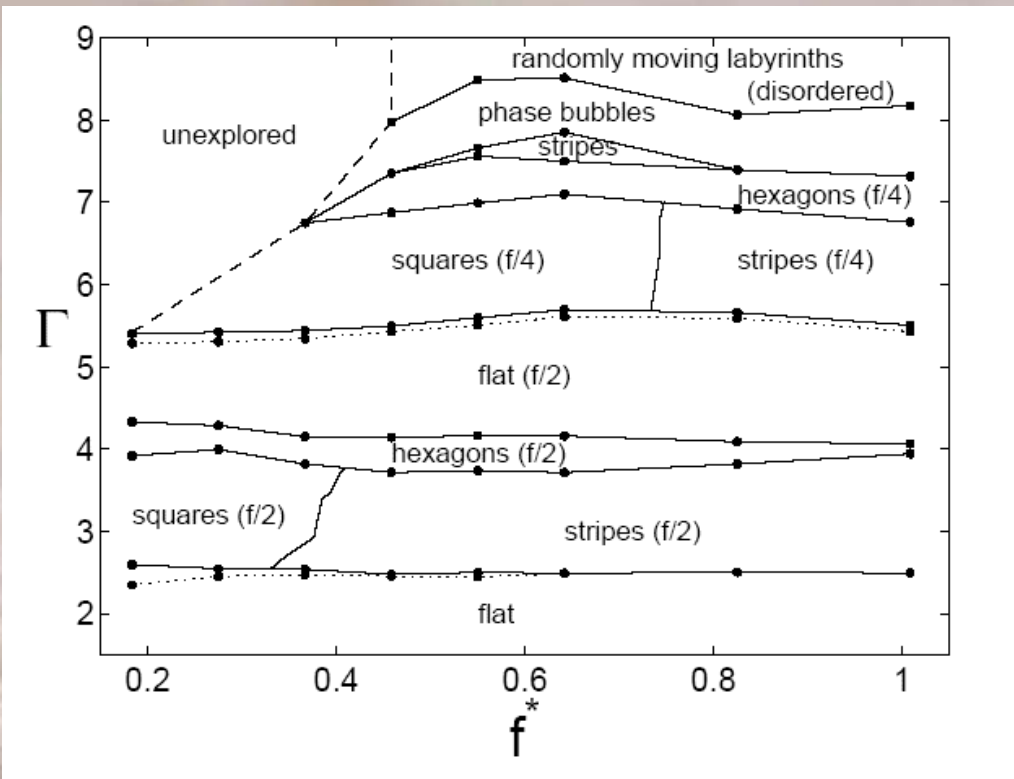
Hasonlóan a magasabb fázisokra is...

$$\Gamma_{\text{crit}1} = 2.47$$

$$\Gamma_{\text{crit}2} = 3.30$$

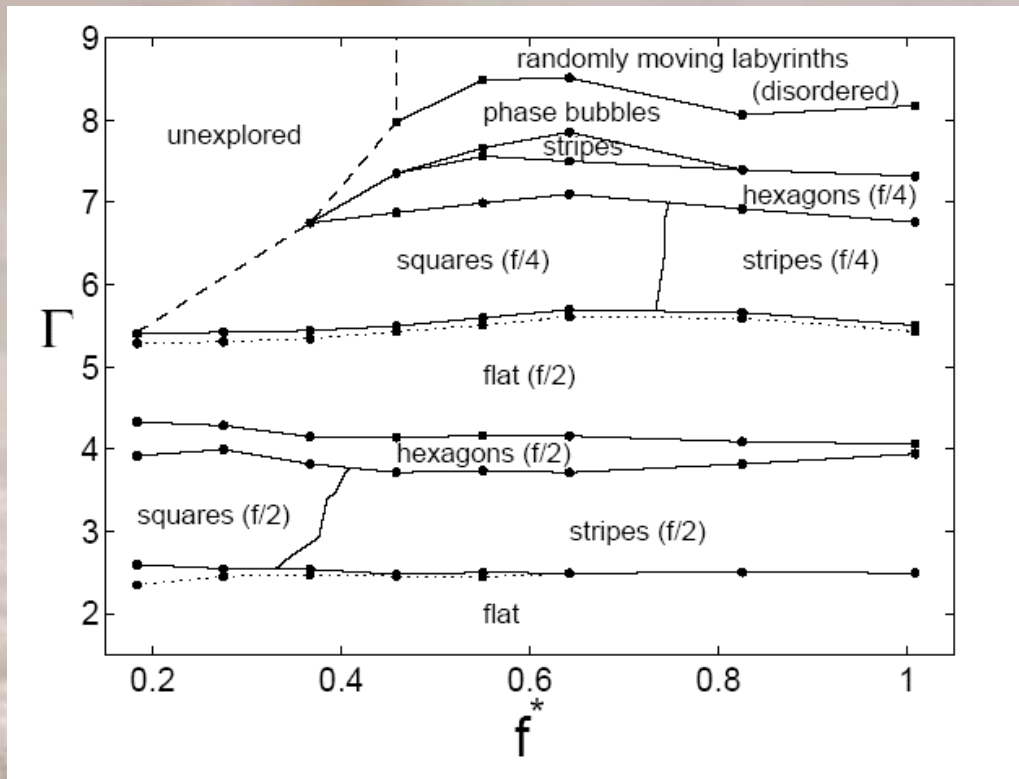
$$\Gamma_{\text{crit}3} = 4.60$$

...



Elméleti megfontolások

Hasonlóan a magasabb fázisokra is...



$$\Gamma_{\text{crit}1}=2.47$$

$$\Gamma_{\text{crit}2}=3.30$$

$$\Gamma_{\text{crit}3}=4.60$$

- $\Gamma_{\text{crit}}(f)=\text{konst.}$ ✓
- hiszterézis ✓
- fázisugrások ✓
- tranziens $f/3, f/6$ módusok ✓
- magasabb Γ_{crit} értékek ⚡
- megjelenő mintázat ⚡

Irodalom

- P. B. Umbanhowar et al, Nature 382, 793 (1996)
- P. B. Umbanhowar et al, Physica A 288, 344 (2000)
- S. J. Moon et al, Phys. Rev. E 65, 011301 (2001)

Köszönöm a figyelmet!