

Mitől örvény egy örvény? Festékcsapdázó kísérletek kevés elmélettel

Jánosi I¹, Kadi L², Tél T¹, és Vincze M.¹

¹ELTE, Kármán Környezeti Áramlások
Laboratórium

²Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne

Hétköznapi élményünk a Kármán Laborban
mágneses keverő keltette örvénnyel I.

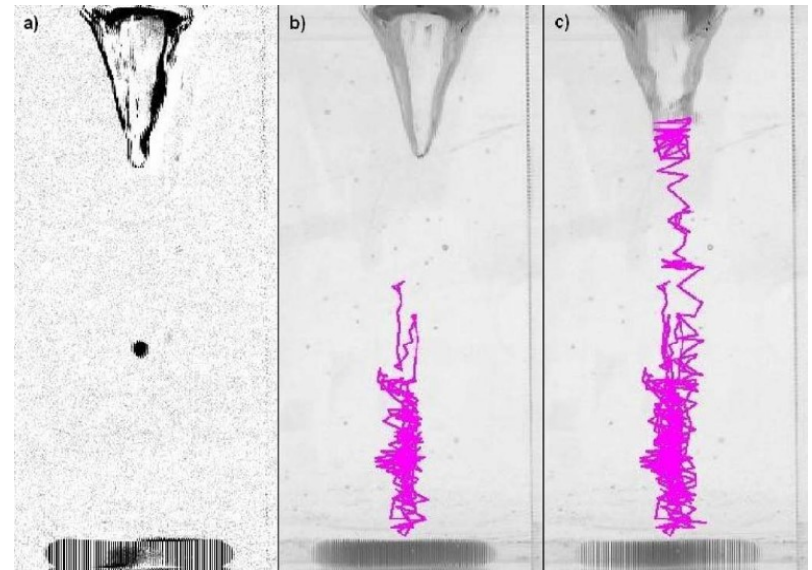


Hétköznapi élményünk a Kármán Laborban mágneses keverő keltette örvénnyel II.



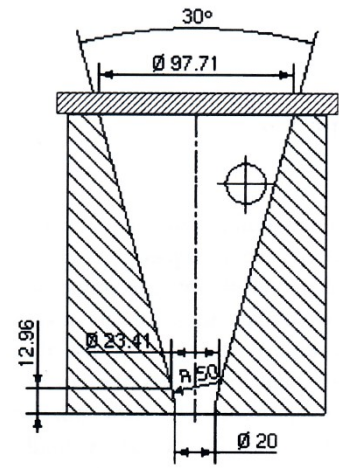
4-5 percig jól látható a festékhenger. Mitől?

Amire találtunk magyarázatot: könnyű golyók az örvényben



Vanyó et al, Chaotic motion of light particles in an unsteady three-dimensional vortex, Phys. Rev. E 90 (2014)

A mi festékhengerünkhöz hasonló megfigyelés fúvókákban



Linke et al., Slowly mixing cylinder in a cone-shaped nozzle, Exp. Fluids 42 (2007)

„a surprising phenomenon”

Az örvényekkel kapcsolatos hétköznapi
festékhengeres tapasztalatok
magyarázata csak napjainkra alakult ki:

G. Haller, A. Hadjighasem, M. Farazmand and F. Huhn:.

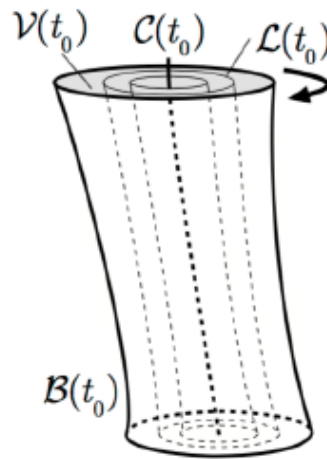
*"Defining coherent vortices objectively from the
vorticity,"*

Journal of Fluid Mechanics 795 (2016): 136-173.

(és G. Haller előadása a BME-n 2017 júniusában)

Az (időfüggő) örvény lehetséges új definíciója

Definition: vortex boundary = maximal convex tubular level set of LAVD



Rotationally coherent Lagrangian vortex

$$\psi_{t_0}^t(\mathbf{x}_0) = \text{LAVD}_{t_0}^t(\mathbf{x}_0) := \int_{t_0}^t \left| \omega(\mathbf{x}(s), s) - \bar{\omega}(s) \right| ds$$

Lagrangian-Averaged
Vorticity Deviation

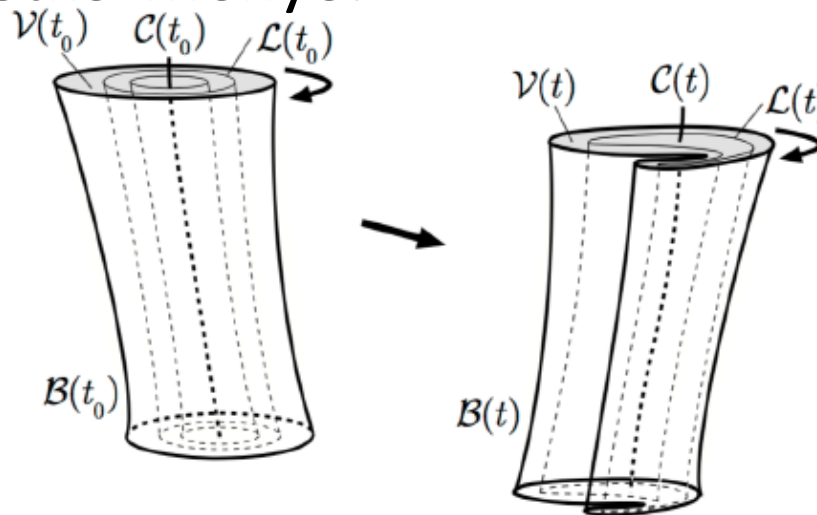
Magyarul/Kísérletileg

Az örvény határa: a legkülső zárt, sima **anyagtartó** felület.
Belül: koncentrikus anyagtartó „hengerek”.

Anyag = **festék**

Örvény=időfüggő forgó folyadéktömeg, mely egy véges tartományban csapdázza az anyagot/festéket

Az elmélet következménye:



Rotationally coherent Lagrangian vortex

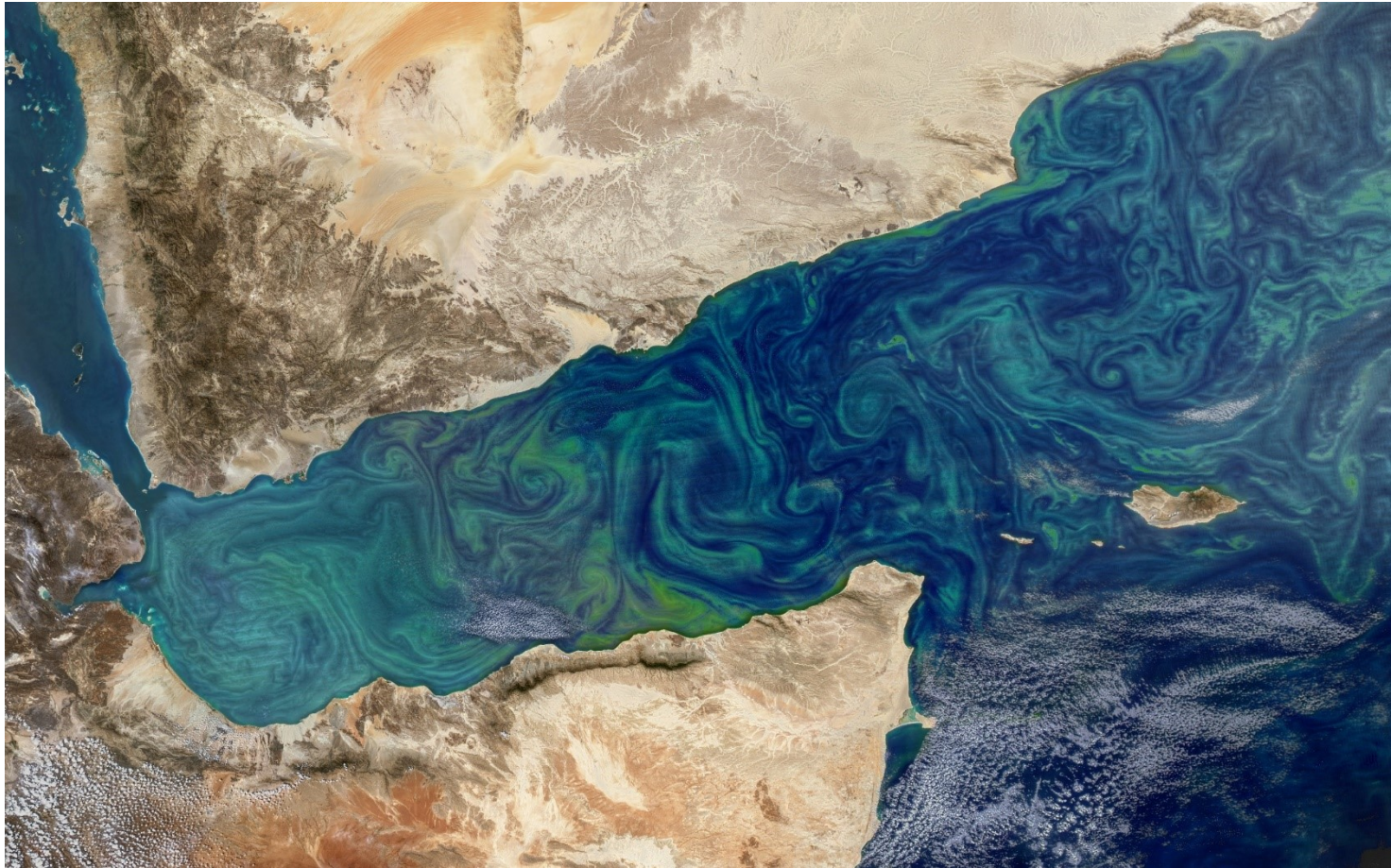
Kísérleteinkben:

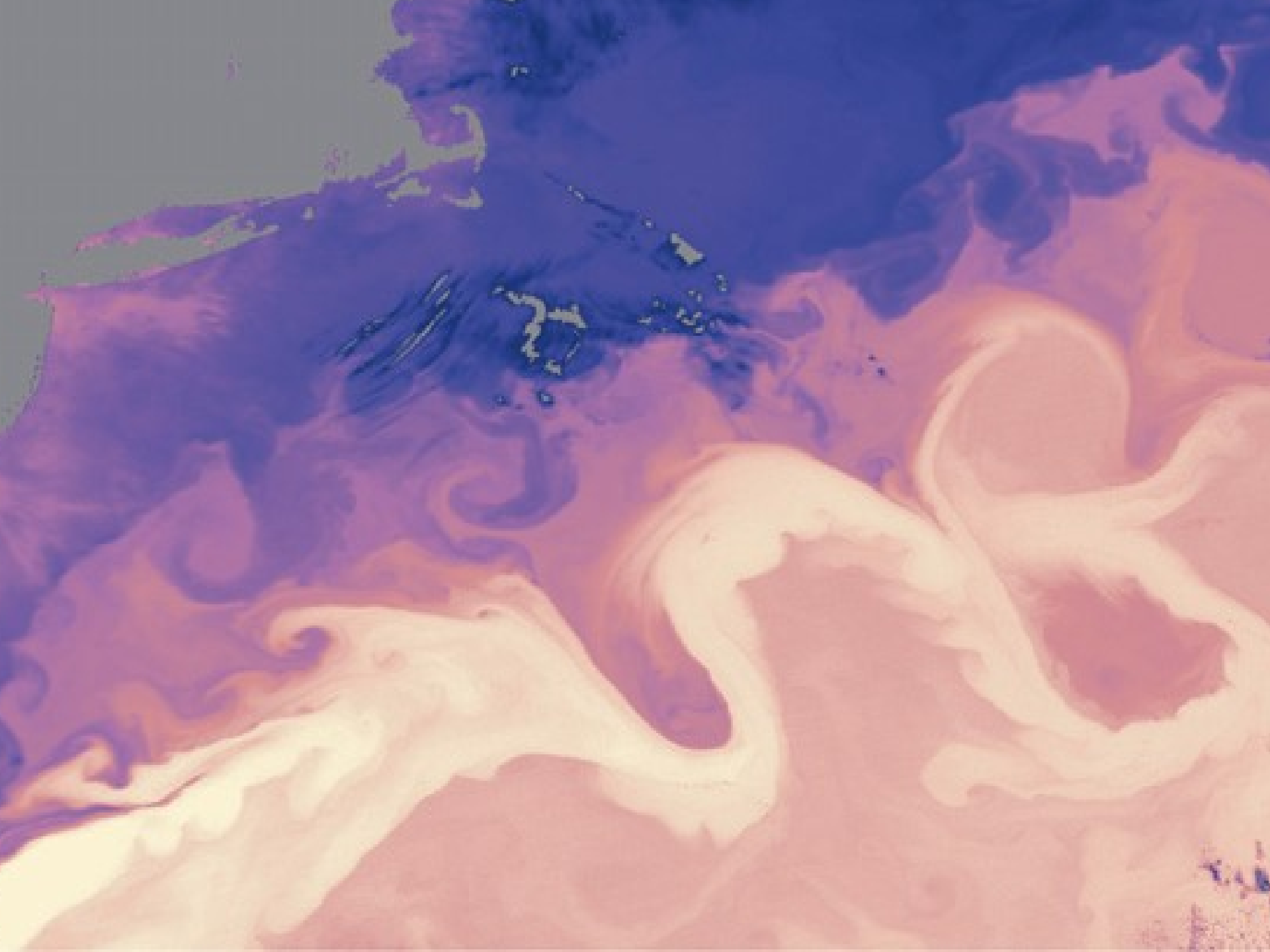


Tágabb összefüggés:

Lagrange-i koherens struktúrák (LCS)

H. Haller, G. Yuan, Lagrangian coherent structures and mixing in two-dimensional turbulence, *Physica D* 147, 352 (2000)







LCS irodalom

- T. Peacock & G. Haller, Lagrangian coherent structures: The hidden skeleton of fluid flows. *Physics Today* 66 (2013) 41.
- F. B. Beron-Vera et al., Drifter motion in the Gulf of Mexico constrained by altimetric Lagrangian coherent structures. *Geophys. Res. Lett.* 40 (2013) 6171
- G. Haller, Lagrangian Coherent Structures. *Annual Rev. Fluid. Mech.*, **47** (2015) 137
- A. Hadjighasem & G. Haller, Geodesic transport barriers in Jupiter's atmosphere: a video-based analysis, *SIAM Review* 58 (2016) 69
- M. Serra, P. Sathe, F. Beron-Vera & G. Haller, Uncovering the Edge of the Polar Vortex. *J. Atm. Sci.* 74 (2017) 3871

Ki is Haller György?



1988 matematikus-mérnök, BME

1988- PhD Stépán Gábornál,

fokozat CalTech, Pasadena, 1993

1994-2001 Brown University, Providence

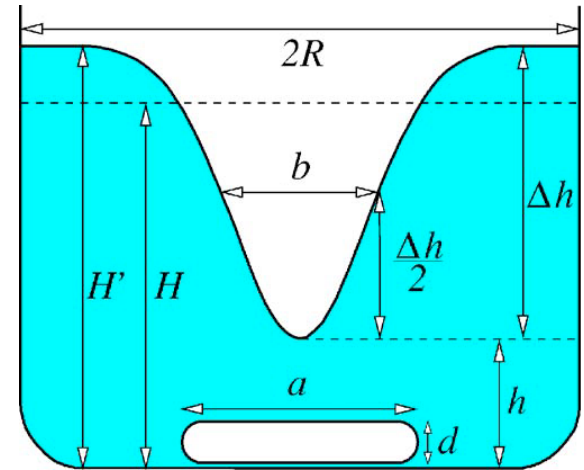
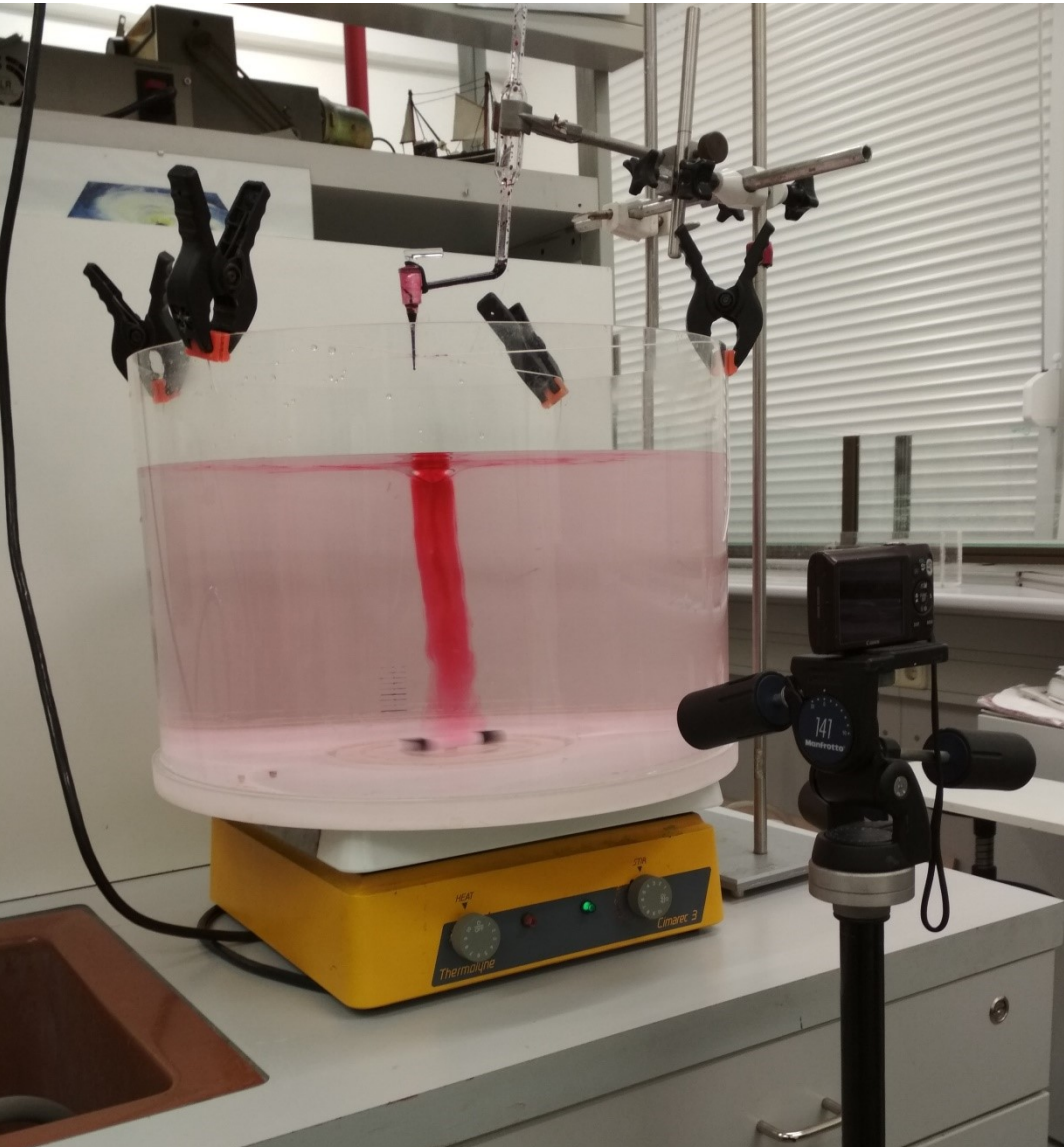
2001-2012 MIT, Boston

2005 MTA doktora

2006-2009 Morgan Stanley Mathematical
Modeling Center, Bp

2012- ETH Zürich, Dept of Mechanical Engineering

Kísérleti elrendezésünk



$R=22.3$ cm

$H=22$ cm

csapvíz

A keverőfej/baba
nem rögzített

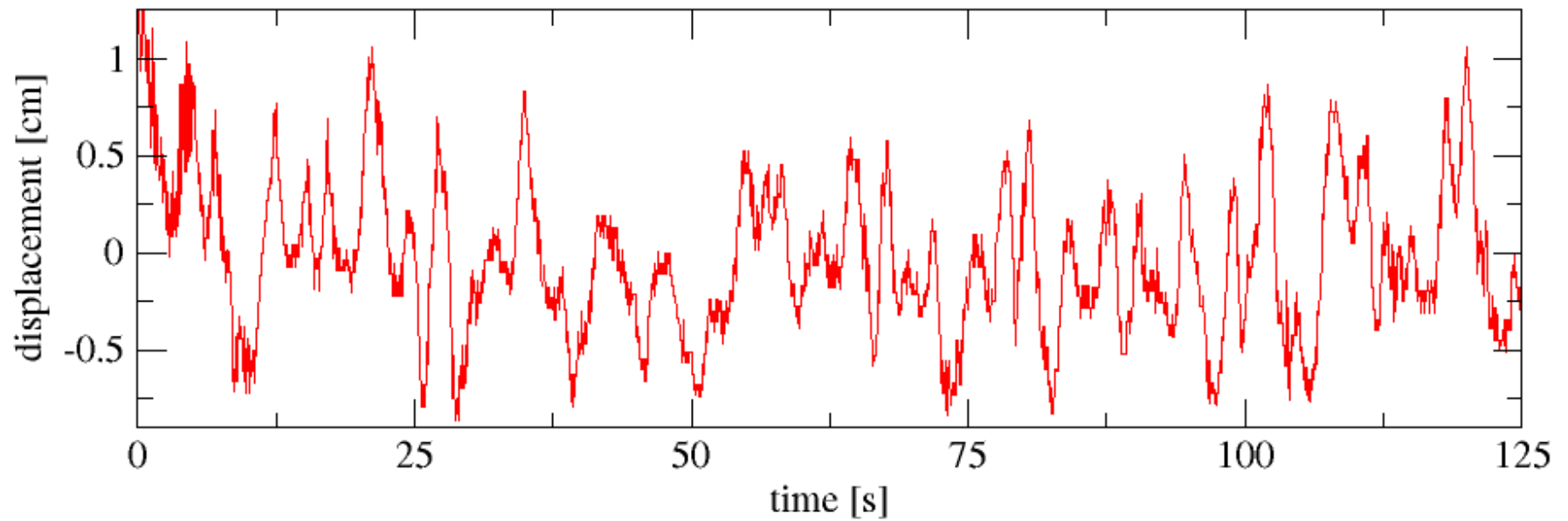
Mért mennyiségek videofelvételekből

- Az örvény helyzete
- Az örvény átmérője

3 keverőfej/baba:

	length a [cm]	thickness [cm]
large	8	1.1
medium	5	1.1
small	4.1	0.9

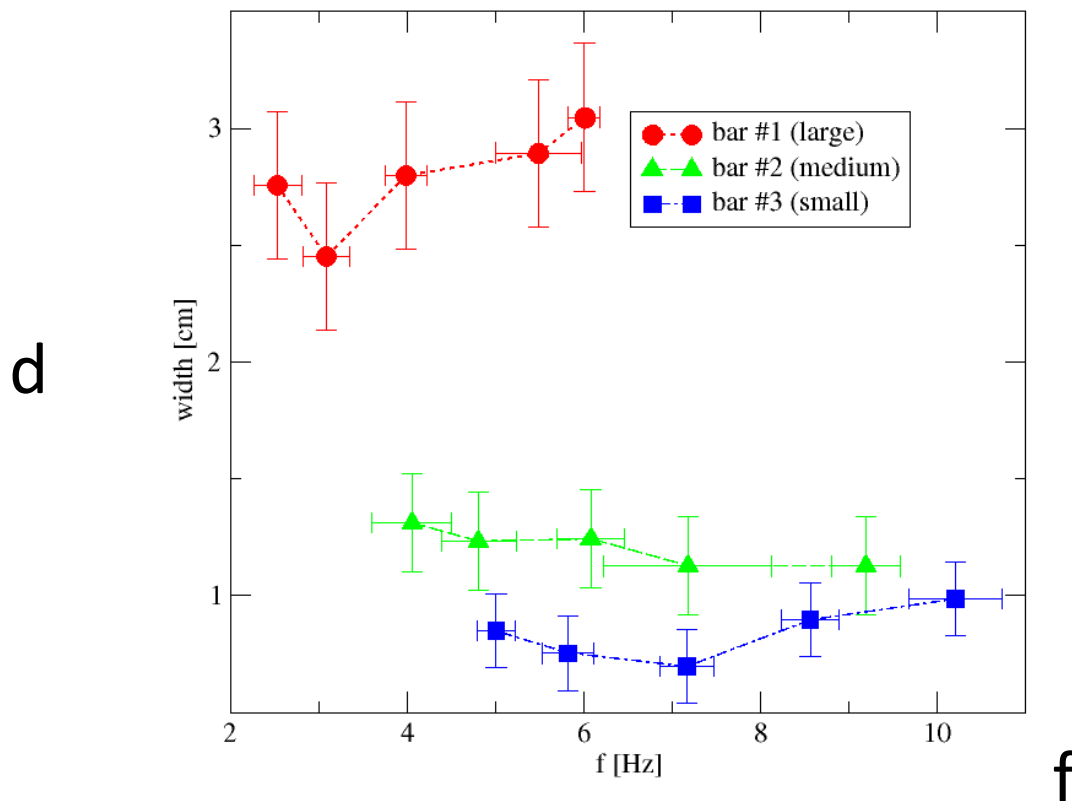
Az örvény helyzete



Az átmérő mérése



A kapott átmérők (az elmélet nem mond róluk semmit)



Az átmérő gyakorlatilag **független a frekvenciától**
Az örvény vastagsága független az erősségétől.

Dimenzióanalízis

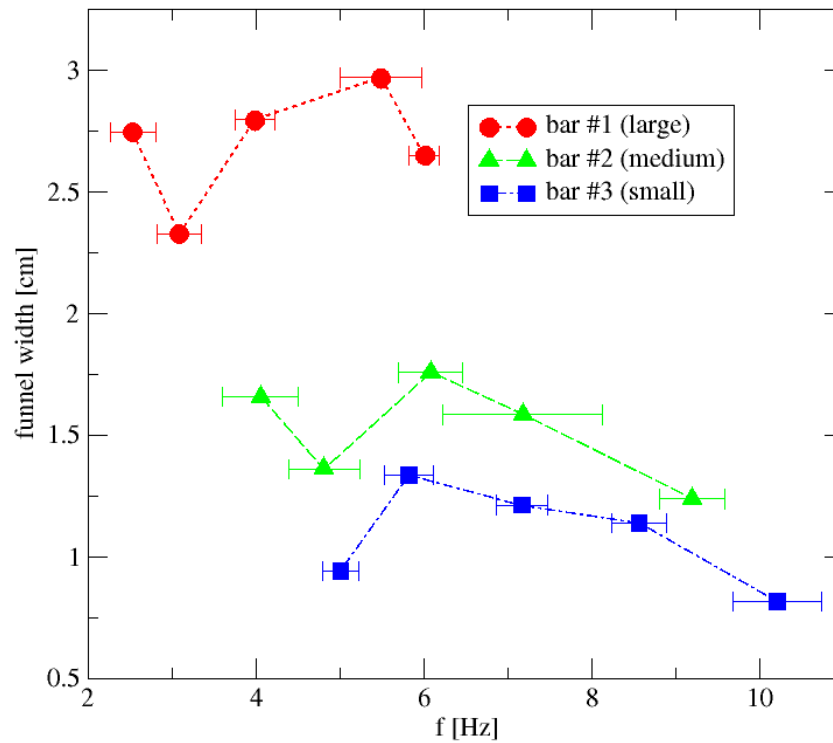
- A kísérletben a Reynolds-szám $Re = f (a/2)^2 / \nu \sim 1000$, a természeti örvényekben sokkal nagyobb
- Ideális folyadékban, távol a peremektől bármilyen távolság kifejezhető a keverőfej a hosszával és az af^2/g dimenziótlan mennyiséggel:

$$d = a F(af^2/g)$$

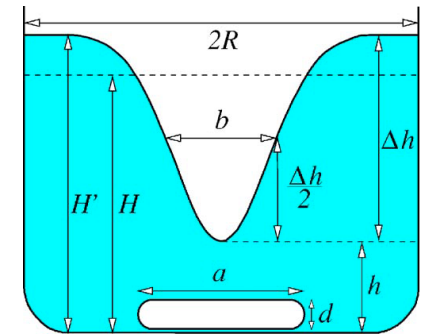
- Olyan d mennyiségekre, melyek nem függenek a gravitációtól, csak $d \sim a$ lehetséges, s ez igaz az örvények, a festékhengerek átmérőjére

A felszíni behorpadás átmérője

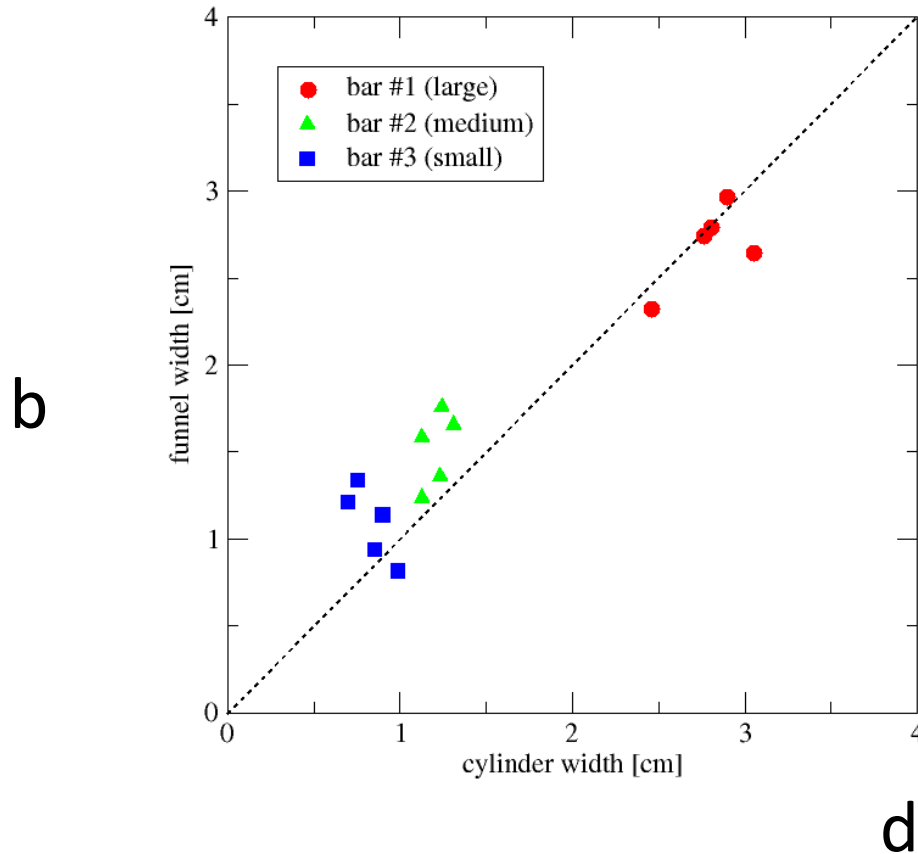
b



f



Összevetés: behorpadás- vs. örvényméret



Az örvény vastagságát a **felszíni behorpadás mérete** határozza meg.

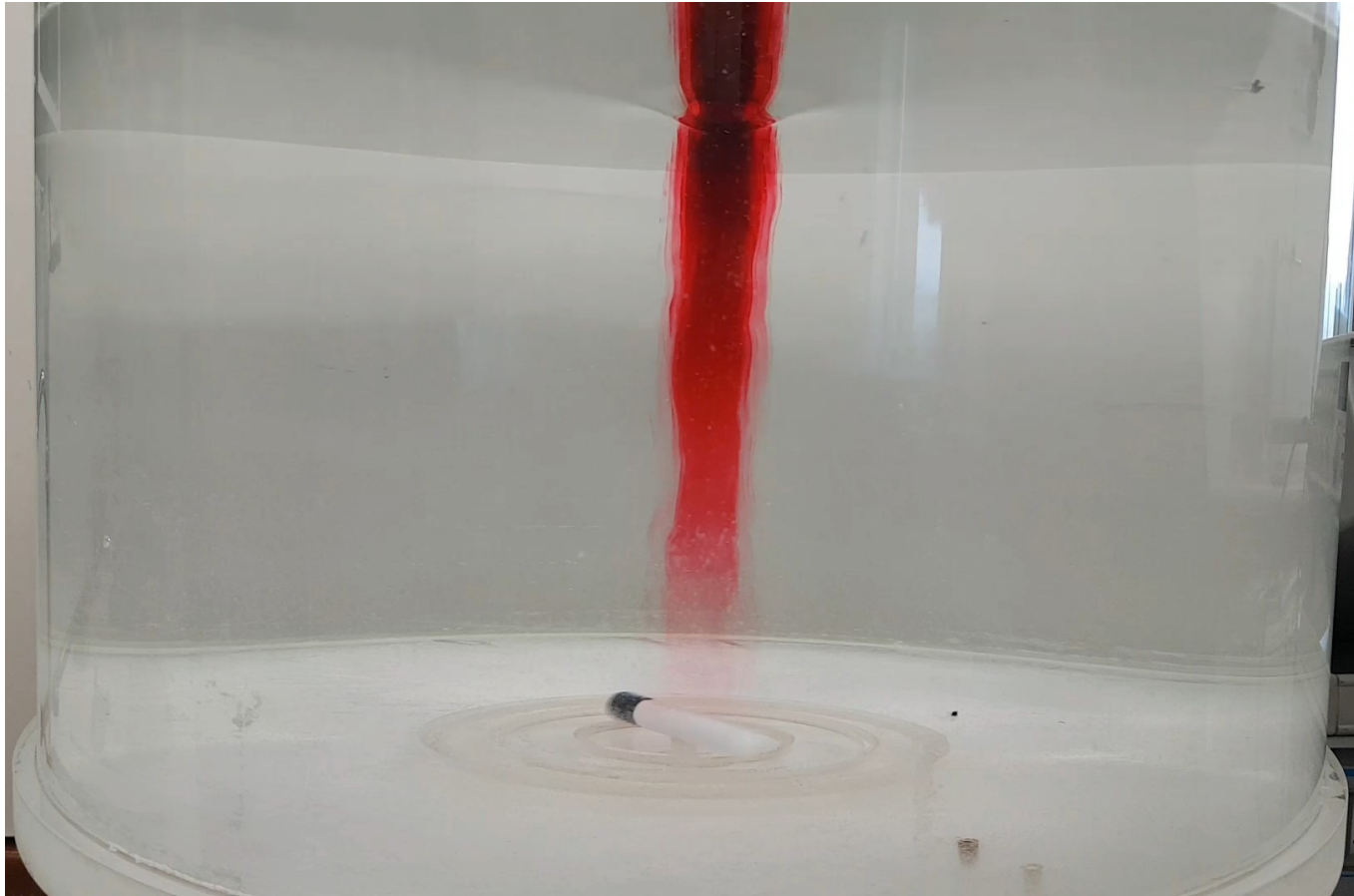
Általános lehet minden örvényre.

Időfüggő forgási sebességgel:



A keverési frekvencia 2,5 szeresére nőtt (vissza is csökkenthető), az anyagtaró tulajdonság **megmarad**

Az örvény lerombolása (?)

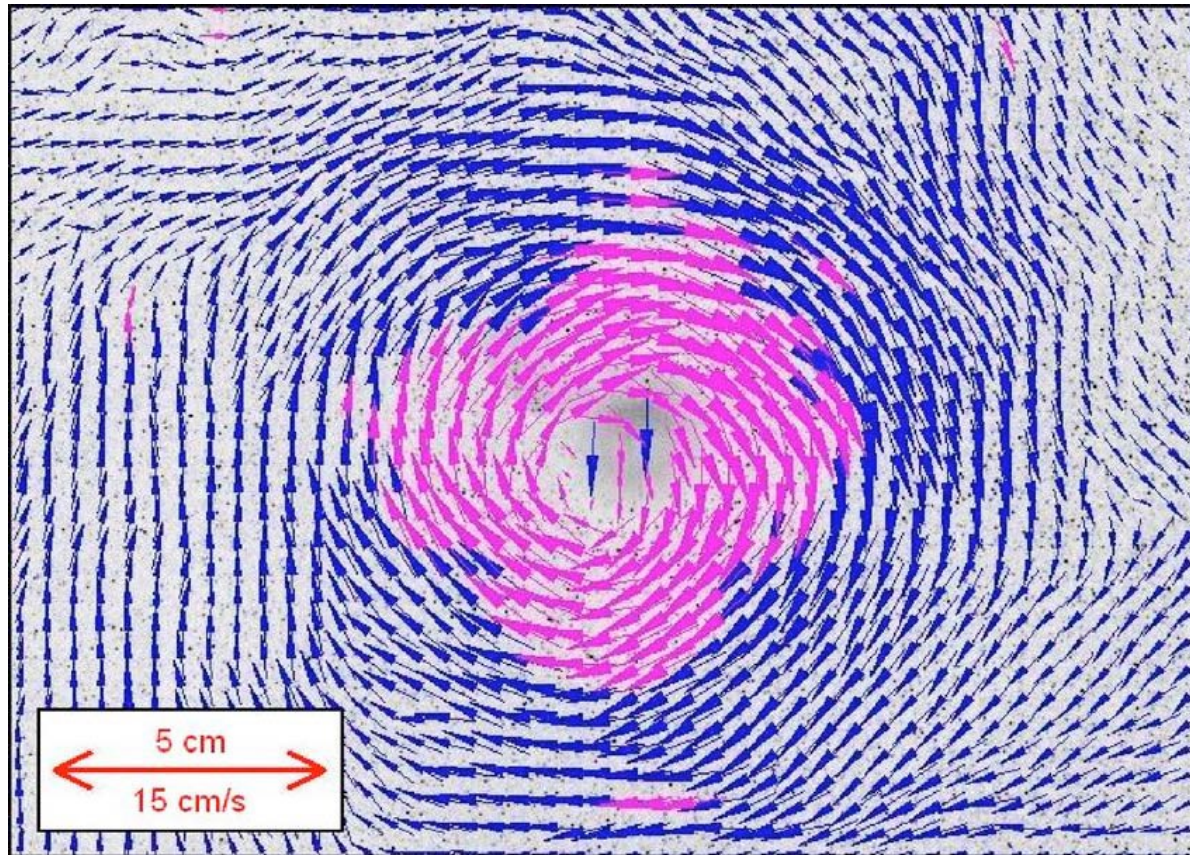


Az anyagtartó tulajdonság helyreáll, amint az áramlás helyreáll.

ROBOSZTUS az új definíciós tulajdonság.

Velocity field

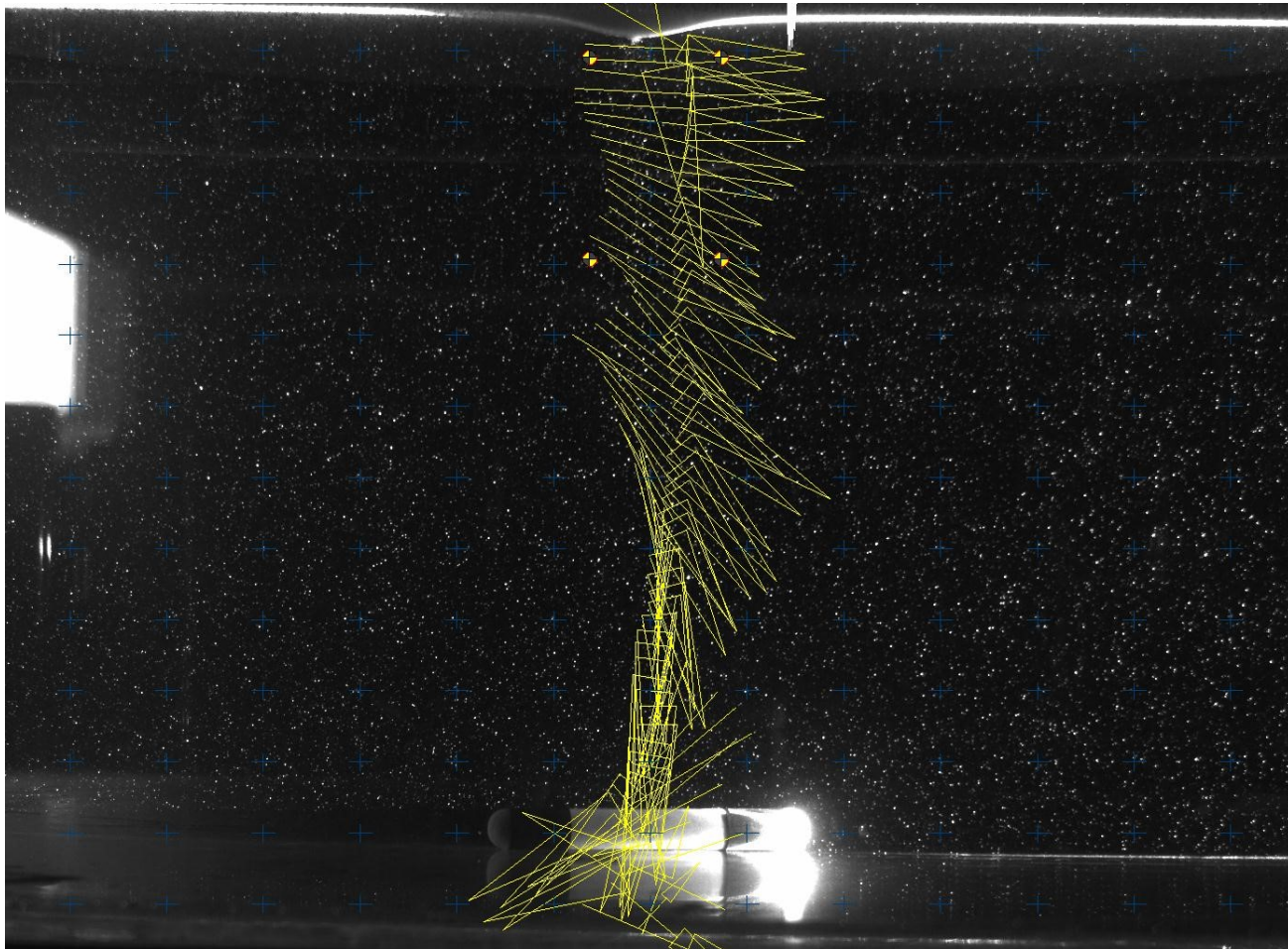
- Velocities in the horizontal plane (PIV results)



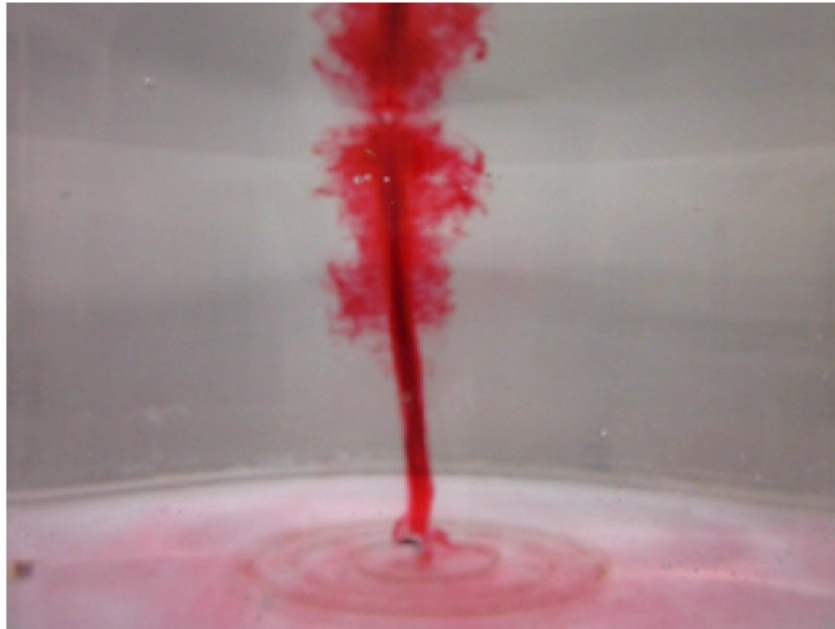
A violet arrows unreliable!

Velocity field

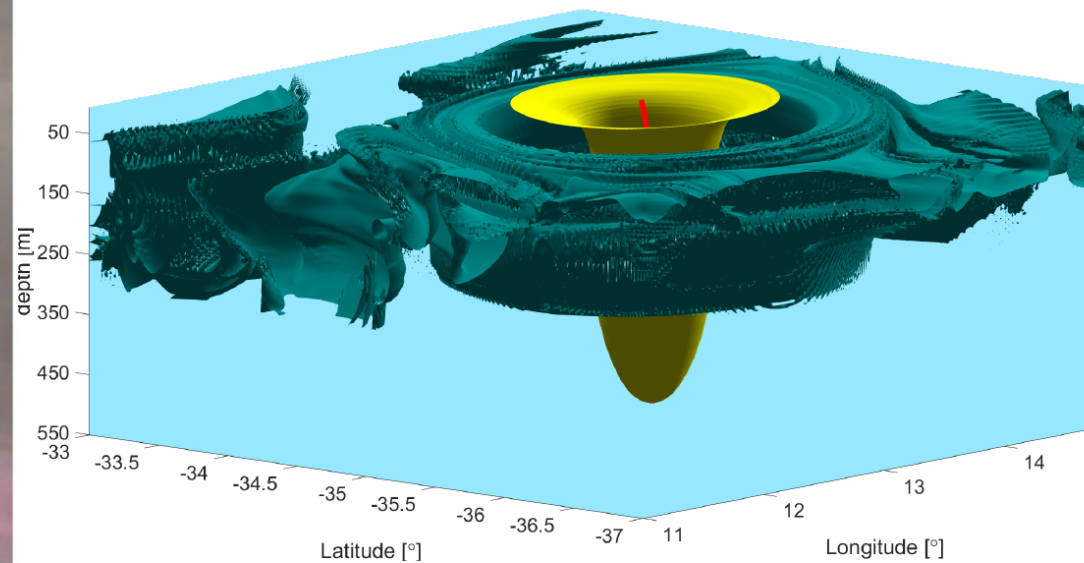
- Velocities in a vertical plane



A comparison with a simulated oceanic vortex

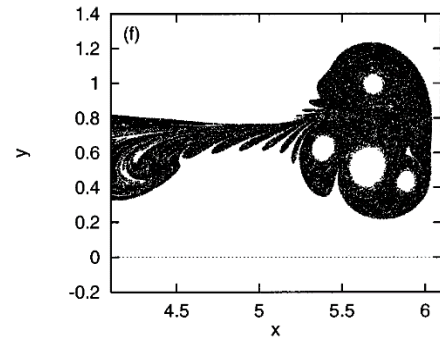
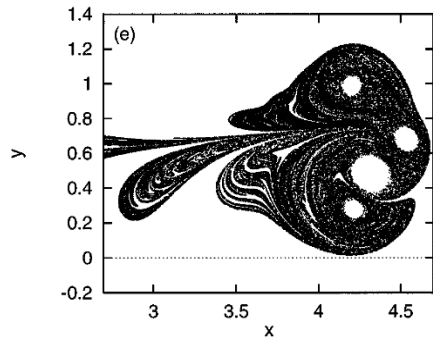
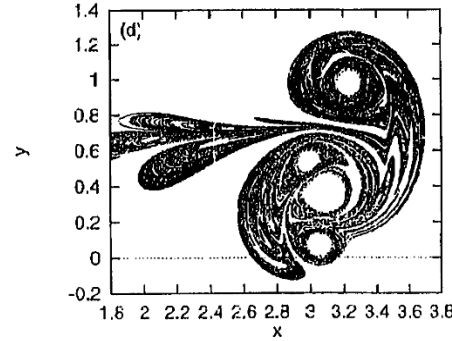
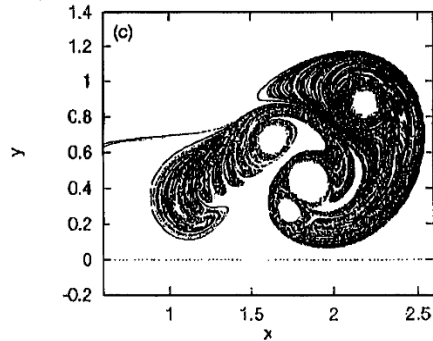
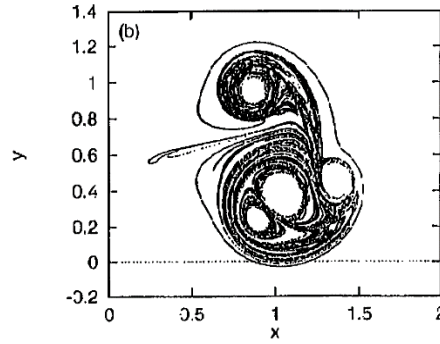
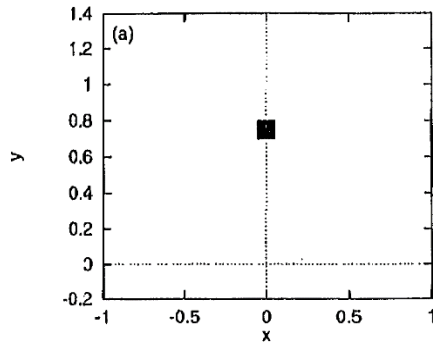


Coherent vortex boundary: Outermost convex level set of **LAVD**



Haller et al., J. Fluid Mech. 795,
136 (2016)

Traditional view on point vortices



This is how 4 chaotically moving point vortices (entering from the left) spread the black dye drop shown in panel (a).

About the pointlike vortex centers, finite vortex cores appear which cannot be reached by dye coming from outside

Dye injected into the cores would remain trapped there forever.

But is not this a consequence of the point vortex property?

A movie of point vortex stirring, Z. Neufeld

