

Modulación de fase en ondas de Faraday

Melisa Vinograd^{1*} | Bernardo Español^{2†}

¹LU: 785/17 - meli.vinograd@gmail.com

²LU: 768/17 - esp.bernardo@gmail.com

Director

Dr. Pablo J. Cobelli; Laboratorio de
Turbulencia Geofísica, FLiP: Grupo de
Fluidos y Plasmas - DF FCEN UBA & IFIBA
CONICET (Argentina)
Email: cobelli@df.uba.ar

Lugar de trabajo

Laboratorio de Turbulencia Geofísica, FLiP:
Grupo de Fluidos y Plasmas - DF FCEN
UBA & IFIBA CONICET

En este plan de trabajo se propone realizar un estudio experimental tendiente a explorar el rol que la modulación de fase juega en la formación de patrones en ondas de Faraday en el límite de escalas temporales largas. En particular, nos interesa estudiar cómo y en qué regímenes la modulación afecta a los mecanismos de formación de patrones y si la misma es responsable por la emergencia de flujos medios y/o estructuras coherentes. Para ello, proponemos medir la dinámica de las ondas superficiales empleando dos técnicas de profilometría de alta resolución espacio-temporal y realizar un modelado del sistema en términos del formalismo de ecuaciones de amplitud, cuyos coeficientes buscamos determinar experimentalmente.

PALABRAS CLAVE

ondas de gravedad-capilaridad, modulación de fase

1 | MOTIVACIÓN

La generación paramétrica de ondas por medio de un campo oscilatorio espacialmente uniforme ha sido observada en diversas áreas de la física: desde las ondas de Langmuir en plasmas hasta la aparición de ondas de Faraday en condensados de Bose-Einstein, pasando por ondas de Faraday en superfluidos; para citar algunos ejemplos recientes.

En particular, la excitación paramétrica de ondas superficiales de gravedad-capilaridad en una capa horizontal de fluido sujeta a vibración vertical (conocida como inestabilidad de Faraday [1]) provee de un modelo experimental completo que permite el estudio de la amplificación paramétrica en sistemas espaciales extensos, es decir, en sistemas con un gran número de grados de libertad.

En la última década, esta temática ha experimentado un renovado interés en la comunidad científica internacional, y ha sido objeto de numerosas publicaciones de alto impacto tanto en el área de sistemas no lineales forzados fuera del equilibrio como en dinámica de fluidos. Entre ellas, el interés se ha centrado en diversos aspectos del mecanismo de interacción entre grados de libertad, como son: la transición a desorden espacio-temporal [2], la emergencia de

caos temporal [3], la selección de patrones (tanto globales como locales) [4, 5, 6], la observación de cuasi-patrones [7], la competencia entre modos caóticos y periódicos [8], aparición de flujos medios [9, 10], la observación de ondas de Faraday con histéresis [11], la transición a la turbulencia [12, 13] y la emergencia de estructuras coherentes [14, 15].

No obstante el gran número de estudios teóricos, numéricos y experimentales que han explorado los diversos mecanismos de la generación paramétrica de ondas de gravedad-capilaridad, éstos se han centrado exclusivamente en el régimen de forzado constante, tanto en espacio como en tiempo [2]. En este sentido, el rol que la modulación de temporal o de fase podría tener en la dinámica de estos sistemas con gran cantidad de grados de libertad en interacción no lineal, en particular para la formación o la inhibición de patrones, constituye un interrogante abierto que nos motiva a proponer el presente plan de trabajo de Laboratorio 6 y 7.

2 | OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

De acuerdo a lo expuesto precedentemente, **el objetivo de este plan consiste en realizar un estudio experimental tendiente a explorar el rol que la modulación de fase juega en la formación de patrones en ondas de Faraday en el límite de escalas temporales largas.** En particular, nos interesa estudiar cómo y en qué regímenes la modulación afecta a los mecanismos de formación de patrones y si la misma es responsable por la emergencia de flujos medios y/o estructuras coherentes.

A fin de llevar adelante este estudio, proponemos utilizar un sistema de generación controlada de ondas de Faraday en los casos 1D y 2D (ya existente en el Laboratorio), y dos sistemas experimentales complementarios para la determinación de la dinámica de las ondas de superficie. Estos dos sistemas son la FTP (Fourier Transform Profilometry, [16]), cuyo montaje ya está operativo en el Laboratorio y la FSSS (Free Surface Synthetic Schlieren, [17]) cuya puesta en operación se propone llevar a cabo en el transcurso del proyecto.

Para la descripción de la dinámica, buscaremos emplear una modelización en términos del formalismo de ecuaciones de amplitud, lo que permitirá separar el problema en dos escalas de tiempo: una asociada a la oscilación rápida de las ondas superficiales y otra vinculada con la modulación de las amplitudes locales de dichas ondas. En este sentido, resulta de particular interés la posibilidad que los sistemas de medición que se planean emplear (FTP y FSSS) representan para la determinación experimental de los coeficientes de las ecuaciones de amplitud, lo cual constituye uno de los atractivos más peculiares de esta propuesta.

3 | FACTIBILIDAD

Las actividades asociadas al plan de trabajo propuesto se desarrollarán en el Laboratorio de Turbulencia Geofísica (en adelante, LTG) del Departamento de Física de la FCEN, UBA.

En este sentido, el LTG cuenta con todo el instrumental y los insumos necesarios para llevar adelante las actividades planteadas en el marco del presente plan. En particular, el LTG dispone de un sistema de generación controlada de ondas de Faraday, especialmente concebido y diseñado a este fin. El mismo permite generar un forzado compuesto de una oscilación vertical controlada en amplitud, frecuencia y fase sobre una capa delgada (de hasta 1 cm de espesor) de líquido. El recipiente donde se alberga el fluido consta de dos receptáculos, uno en forma de disco y otro en forma de anillo circular, lo que permite considerar simultáneamente los efectos del forzado sobre un sistema bidimensional (el disco) y otro unidimensional con condiciones periódicas de contorno (el anillo), de particular relevancia para los objetivos propuestos.

En lo que hace al sistema de medición, el LTG posee cámaras ultra-rápidas de alta definición con las que se realizará

la captura de imágenes, y cuenta también con el sistema de profilometría FTP con el que se medirá en forma resuelta en tiempo y espacio la dinámica de la superficie libre, tanto en el caso unidimensional como en el bidimensional. Similarmente, el sistema de medición complementario de deformación de la superficie libre mediante FSSS que se propone poner en operación requiere de partes que ya están disponibles en el laboratorio.

Los sistemas de medición que se emplearán en este proyecto involucran la captura de imágenes de alta resolución espacial (1 Mpx con 10 bits de profundidad de color) a una elevada cadencia temporal (1 kHz), lo que hace una única experiencia de captura de algunos segundos de dinámica de la superficie libre represente ya 5 Gb de datos. Considerando que se propone realizar un estudio experimental detallado del espacio de parámetros, resulta evidente que el procesamiento de datos requiere de herramientas de procesamiento paralelo. En este aspecto, cabe destacar que el Grupo de Fluidos y Plasmas cuenta con dos clusters Beowulf (uno con 72 procesadores y otro con 128 procesadores) con una capacidad de almacenamiento total de varias decenas de Terabytes, lo que asegura el post-procesamiento y el análisis del gran volumen de datos proveniente de las experiencias que se proponen.

Referencias

- [1] M. Faraday. On a peculiar class of acoustical figures. *Phil. Trans. R. Soc. London*, 52:319, 1831.
- [2] Jose E Wesfreid, Helmut R Brand, Paul Manneville, Gilbert Albinet, and Nino Boccara. *Propagation in Systems Far from Equilibrium*, volume 41 of *Proceedings of the Workshop, Les Houches, France, March 10–18, 1987*. Springer Science & Business Media, Berlin, Heidelberg, December 2012.
- [3] R. Keolian, L.A. Turkevich, S.J. Putterman, and I. Rudnick. Subharmonic sequences in the faraday experiment: Departures from period doubling. *Phys. Rev. Lett.*, 47:1033, 1981.
- [4] Doug Binks and Willem Van De Water. Nonlinear Pattern Formation of Faraday Waves. *Physical Review Letters*, 78(21): 4043–4046, May 1997.
- [5] Peilong Chen. Nonlinear wave dynamics in Faraday instabilities. *Physical Review E*, 65(3):319–6, 2002.
- [6] Krishna Kumar Bajaj and Kapil M S. Competing patterns in the Faraday experiment. *Physical Review E*, pages 1–6, March 2011.
- [7] Edwards WS S and Fauve. Patterns and quasi-patterns in the Faraday experiment. pages 1–26, September 2005.
- [8] S Ciliberto Gollub and J P. Chaotic mode competition in parametrically forced surface waves. *Journal of Fluid Mechanics*, pages 1–18, 2005.
- [9] M Higuera, J Porter, and E Knobloch. Faraday waves, streaming flow, and relaxation oscillations in nearly circular containers. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, 18(1):015104–12, March 2008.
- [10] Nicolas Périnet, Pablo Gutiérrez, Héctor Urrea, Nicolás Mujica, and Leonardo Gordillo. Streaming patterns in Faraday waves. *Journal Of Fluid Mechanics*, 819:285–310, 2017.
- [11] Nicolas Périnet, Claudio Falcón, Jalel Chergui, Damir Juric, and Seungwon Shin. Hysteretic Faraday waves. *Physical Review E*, 93(6):311–4, 2016.
- [12] Itamar Shani, Gil Cohen, and Jay Fineberg. Localized Instability on the Route to Disorder in Faraday Waves. *Physical Review Letters*, 104(18):184507–4, May 2010.
- [13] Michael Shats, Nicolas Francois, Hua Xia, and Horst Punzmann. TURBULENCE DRIVEN BY FARADAY SURFACE WAVES. *International Journal of Modern Physics: Conference Series*, 34:1460379–12, 2014.

- [14] N Francois, H Xia, H Punzmann, and M Shats. Inverse Energy Cascade and Emergence of Large Coherent Vortices in Turbulence Driven by Faraday Waves. *Physical Review Letters*, 110(19):194501–5, 2013.
- [15] N Francois, H Xia, H Punzmann, S Ramsden, M Shats Physical Review X, and 2014. Three-dimensional fluid motion in Faraday waves: creation of vorticity and generation of two-dimensional turbulence. *APS*.
- [16] Pablo Cobelli, Agnès Maurel, Vincent Pagneux, and Philippe Petitjeans. Global measurement of water waves by fourier transform profilometry. *Experiments in Fluids*, 46:1037–1047, 06 2009. doi: 10.1007/s00348-009-0611-z.
- [17] F. Moisy, M. Rabaud, and Salsac K. A synthetic schlieren method for the measurement of the topography of a liquid interface. *Experiments in Fluids*, 46:1021–1036, 2009.