

Contenido

Topological tricks for smarter materials	2
Usando grafos de visibilidad para caracterizar plasmas turbulentos no maxwellianos.....	2
Efecto de tribocarga en el crecimiento granular.....	5
Desarrollando autómatas celulares para el estudio de terremotos en Chile.	6
Estructuras disipativas en sistemas disipativos	6
Patrones laberínticos en cristales líquidos colestericos.....	7
Formación de patrones de vegetación en climas semiáridos y áridos:	8
Dinámica de vórtices atrapados por trampas magnéticas.....	8
Formación de estructuras disipativas en válvulas ópticas en transmisión.....	9
Dinámica de frentes en osciladores de Duffing acoplados con elementos no recíprocos	10
Clustering of self-propelled particles: Interplay between motility properties and nutrient competition	10
Influencia de la fractalidad del forzamiento sobre la turbulencia en plasmas espaciales.....	11
Grafos de visibilidad e irreversibilidad de series de tiempo	11
Aceleración de electrones y su emisión tipo sincrotrón en discos de acreción en torno a agujeros negros	12
Excitación de estados cuánticos durante el universo primordial.....	13
Generación de estados cuánticos en guías de onda	13

Topological tricks for smarter materials

2 Cupos

Profesores encargados: Luis E. F. Foa Torres y José Mella Riquelme

Resumen:

Hace más de 30 años, el descubrimiento de la cuantización exacta de la conductancia Hall en condiciones extremas de bajas temperaturas y altos campos magnéticos (el efecto Hall cuántico entero) abrió las puertas para el estudio de un nuevo tipo de orden [1]. Veintisiete años más tarde, predicciones teóricas llevaron al descubrimiento de propiedades similares sin necesidad de un campo magnético, como una propiedad intrínseca de un material [2]. Esto fue el origen de lo que hoy conocemos como aislantes topológicos [3], una nueva fase de la materia que desafía la clasificación usada hasta entonces en metales, aislantes y semiconductores.

La propuesta para esta práctica tiene dos partes, por un lado revisar los hitos salientes de la teoría de aislantes topológicos mediante simulaciones numéricas, y por el otro elegir un problema específico menos explorado para estudiarlo con las herramientas aprendidas en la primera parte. Posibles problemas específicos incluyen: estudiar el efecto de diferentes tipos de desorden en la conductancia de estos sistemas; estudiar nuevas posibilidades para controlar las corrientes (de carga, valle, espín) en estos sistemas. Se requiere una fuerte motivación, muy buen manejo de Mecánica Cuántica y elementos de Física del Sólido. Más información sobre nuestro trabajo en [4].

[1] von Klitzing, Dorda, and Pepper, Phys. Rev. Lett. 45, 494 (1980).

[2] König et al., Science 318, 766 (2007).

[3] Hasan and Kane Rev. Mod. Phys. 82, 3045 (2010).

[4] <http://www.foatorres.com/research/>

Usando grafos de visibilidad para caracterizar plasmas turbulentos no maxwellianos.

Profesores guía: Denisse Pastén y Pablo Moya

1 Estudiante

Uno de los desafíos fundamentales abiertos en física de plasmas es cuantificar el rol de las distribuciones de partículas, y la partición de energía entre el plasma y la turbulencia electromagnética en ambientes débilmente colisionales. Estos sistemas se encuentran comúnmente en todo el Universo, por ejemplo el viento solar y la magnetosfera de la Tierra, que corresponden a verdaderos laboratorios de física del plasma en los que se pueden estudiar fenómenos turbulentos. En general en ambientes espaciales y astrofísicos el plasma se encuentra fuera del equilibrio termodinámico y suele representarse por funciones de distribución no térmicas, entre ellas las distribuciones Kappa. En un plasma con temperatura finita, el movimiento aleatorio de las partículas cargadas que componen el plasma produce un nivel finito de fluctuaciones electromagnéticas, incluso en ausencia de energía libre. Estas fluctuaciones, conocidas como ruido cuasi-térmico, pueden explicarse mediante una generalización del Teorema de Fluctuación-Disipación y han sido estudiadas en el caso de sistemas de plasma térmicos y no térmicos. Resultados recientes han demostrado que el nivel de fluctuaciones en los plasmas, incluidas las

partículas supra-térmicas que siguen una distribución Kappa, se incrementa con respecto a plasmas en equilibrio termodinámico (Viñas et al., 2014).

En este proyecto proponemos caracterizar la turbulencia en un plasma térmico o no térmico a través de redes complejas construidas a partir de simulaciones de partículas. En particular, utilizaremos el método de grafos de visibilidad (Lacasa et al., 2009). Este método permite mapear una serie de tiempo en una red compleja bajo un principio geométrico de visibilidad. En este sentido, el algoritmo podría considerarse como una transformada geométrica de la serie de tiempo en la que se descompone la serie visibilizando las conexiones entre sus puntos, formando un tejido particular que representa la serie temporal como un objeto geométrico. Recientemente Acosta-Tripailao et al., (2021) mostró que el llamado Grafo de visibilidad horizontal permite distinguir el nivel de reversibilidad de las series de tiempo asociadas a fluctuaciones magnéticas asociadas a distribuciones Maxwellianas y Kappa. Para este proyecto proponemos generalizar este algoritmo usando otros grafos de visibilidad que han mostrado ser de utilidad para caracterizar la complejidad y fractalidad de series de tiempo. Esperamos que nuestros resultados proporcionen un marco en el que el análisis de redes complejas se pueda utilizar como una herramienta relevante para caracterizar la naturaleza y propiedades de plasma turbulentos.

Referencias

Acosta-Tripailao, B., Pastén, D., and Moya, P. S., Entropy, 23, 470, 2021.
Lacasa, L., Luque, B., Luque, J., and Nuño, J., Eur. Phys. J., 86, 30001, 2009.
Viñas A.-F., Moya, P. S., Navarro, E., and Aranedá. J. A., Phys. Plasmas, 21, 012902, 2014.

Fuerzas ponderomotrices en plasmas descritos por funciones de distribución Kappa.

1 Estudiante

Profesores guía: Pablo Moya y Felipe Asenjo

El viento solar, regiones de la magnetósfera terrestre, entre otros plasmas espaciales, son ejemplos importantes de plasmas de baja colisionalidad, en los cuales la presencia de interacciones de largo alcance da origen a estados cuasi estacionarios (pero no de equilibrio termodinámico) descritos por distribuciones de velocidad no Maxwellianas. Una de las distribuciones más observadas corresponde a las llamadas "Distribuciones Kappa", que permiten modelar poblaciones de partículas que exhiben un núcleo cuasi térmico y colas tipo ley de potencias para las energías más altas. Caracterizar estas funciones es fundamental para comprender el detalle de los procesos microscópicos y macroscópicos de interacción y coexistencia entre el plasma, ondas y turbulencia electromagnética en ambientes espaciales. Por ejemplo, en un efecto no lineal, la interacción entre el plasma y ondas de amplitud finita puede significar la existencia de fuerzas sobre las partículas (llamadas fuerzas ponderomotrices), generando el enfoque o desenfoque de la onda, entre otros efectos.

En este proyecto proponemos deducir, usando la familia de distribuciones Kappa, la relación de dispersión bajo las cuales se propagaría naturalmente una onda de amplitud finita en un plasma no térmico. Usaremos un procedimiento análogo al método usado en (Asenjo & Moya, 2019)

perturbando el medio y los campos mediante enfoque cinético y de fluidos. Esperamos analizar las características dispersivas de la onda en el plasma y la fuerza ponderomotriz que dependerá de esta relación de dispersión. A su vez, estudiaremos las características de esta fuerza ponderomotriz y los efectos que tiene en el plasma y veremos cómo estos varían según el parámetro $kappa$ representativo de la función de distribución. Además la compararemos con la distribución Maxwelliana y con la teoría clásica de ondas ponderomotrices en plasmas magnetizados (Washimi & Karpman, 1976; Karpman & Washimi, 1977).

Referencias

Asenjo, F. A., and Moya, P. S., J. Phys. A: Math. Theor., 52, 255501, 2019.
Karpman V. I., and Washimi, H., J. Plasma Phys., 18, 173, 1977.
Washimi H., and Karpman, V. I., Sov. Phys.-JETP., 44, 528. 1976.

Caracterización de las fluctuaciones magnéticas y las propiedades del plasma en el envoltorio magnético terrestre

Profesor Guía: Pablo Moya

1 estudiante

En plasmas espaciales débilmente colisiones, la función de distribución de velocidades de las partículas generalmente exhibe una variedad de características no térmicas que se desvían del equilibrio térmico. Estas desviaciones del equilibrio proporcionan una fuente local para las emisiones de fluctuación electromagnética, incluidas las inestabilidades comúnmente observadas tanto en la escala de los electrones como en la de los iones. La misión NASA Wind es una de las naves espaciales más exitosas que ha monitoreado el viento solar cerca de la Tierra durante los últimos 25 años. Desde su lanzamiento a finales de 1994, y hasta ahora ha sido utilizado por la comunidad científica para estudiar la física del plasma espacial en una amplia variedad de trabajos. Entre ellos, los estudios sobre la relación entre la anisotropía de temperatura y las mediciones del parámetro beta del plasma, y las fluctuaciones magnéticas, han proporcionado una buena imagen de la regulación de las propiedades macroscópicas del viento solar debido a micro inestabilidades cinéticas no colisionales, especialmente a una unidad astronómica de distancia al Sol (Bale et al., 2009; Adrian et al., 2016). Estudios similares han demostrado que la situación es consistente cuando se consideran las observaciones de campos magnéticos y de plasma en la magnetosfera interna y la cola de la magnetósfera (Espinoza et al., 2021).

En este proyecto, considerando las observaciones de la nave espacial Wind en segmentos orbitales dentro del llamado "envoltorio magnético" de la Tierra o Magnetosheath, proponemos explorar la misma relación característica entre anisotropía, beta y fluctuaciones magnéticas en la región turbulenta entre la magnetopausa y el arco de choque del viento solar. En particular, esperamos ver las similitudes y diferencias entre la dinámica del plasma en la escala típica de los iones y también las escalas más pequeñas correspondientes a las longitudes e intervalos de tiempo típicos de los electrones. Esperamos que nuestros resultados sean útiles para la comprensión de plasmas casi sin colisiones en otros entornos espaciales y astrofísicos.

Referencias

- Adrian, M. L., Viñas, A.-F., Moya, P. S., and Wendel, D. E., *Astrophys. J.*, 833, 49, 2016.
Bale, S. D., Kasper, J. C., Howes, G. G., Quataert E., Salem, C., and Sundkvist, D., *Phys. Rev. Lett.*, 103, 211101, 2009.
Espinoza, C. M., Moya, P. S., Stepanova, M., Valdivia, J. A., and Navarro, R., *Astrophys. J.* (accepted), arXiv:2110.13334, 2021.

Efecto de tribocarga en el crecimiento granular

Nicolás Mujica

Laboratorio de materia fuera del equilibrio

nmujica@dfi.uchile.cl

Cupo = 1 estudiante

A pesar de la evidencia obvia de la existencia de los planetas terrestres, no hay acuerdo sobre el o los mecanismos físicos que permitan su formación a partir de polvo que orbita en los discos de acreción, los llamados discos protoplanetarios (PPD). A partir de partículas de tamaño de $1\ \mu\text{m}$ es necesario llegar a objetos rocosos de 1 km de diámetro para que la gravedad pueda actuar acretando más material; son los objetos de este tamaño los que se denominan planetesimales. Existen diversos mecanismos que permiten el crecimiento de grumos granulares, pero también otros que frenan su evolución, como la fragmentación por impacto, la erosión y la caída al centro del PPD debido a la pérdida de momento angular por fricción con el gas del disco, el cual orbita en forma sub-Kepleriana. Esto conduce a la llamada barrera del metro: teóricamente no debiesen existir objetos masivos mayores a esta escala, cosa en abierta contradicción a lo observado [1]. En el marco del proyecto Experimental Astrophysical Research into Terrestrial growth (EARTH), proponemos investigar la formación de planetesimales en discos protoplanetarios desde el punto de vista de la física granular. En particular queremos dilucidar sobre el rol de la tribocarga entre partículas granulares, que consiste en el intercambio de cargas entre ellas tras estar en contacto. Este efecto ha sido propuesto como un posible mecanismo esencial para el crecimiento de grumos granulares [2], hasta ahora más bien ignorado. Nuestro objetivo inmediato es desarrollar experimentos que aborden cómo las diferentes interacciones por pares y, en general, las partículas y las propiedades de colisión, conducen al crecimiento sostenido del clúster. En el experimento 1 utilizaremos un aparato de caída libre, de 3 m de altura, para observar y caracterizar colisiones de a pares de partículas, y mediremos las cargas eléctricas en condiciones de vacío y gravedad cero de los PPD. En el experimento 2, que es el que se propone para esta práctica, se usará un aparato de levitación ultrasónica para observar y caracterizar colisiones de a pares de partículas. Se utilizarán diferentes materiales, incluido material obtenido de meteoritos. El objetivo más a largo plazo es utilizar los resultados de ambos experimentos como entrada para simulaciones numéricas que se ejecutarán por tiempos de interacción mucho más largos, en colaboración con astrónomos y físicos teóricos.

Bibliografía: 1. J. Blum and G. Wurm, The Growth Mechanisms of Macroscopic Bodies in Protoplanetary Disks, *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* 48, 21 - 56 (2008) 2. V. Lee, S.R. Waitukaitis, M.Z. Miskin and H.M. Jaeger, Direct Observation of Particle Interactions and Clustering in Charged Granular Streams, *Nature Physics* 11, 733 (2015).

Desarrollando autómatas celulares para el estudio de terremotos en Chile.

1 cupo.

Profesora guía: Denisse Pastén

Nuestro país está ubicado en la zona de choque entre dos placas tectónicas: la placa de Nazca y la Sudamericana. Esta ubicación en una zona de subducción vuelve a nuestro país un lugar de gran actividad sísmica, volviéndolo un excelente laboratorio natural para el estudio de la sismicidad. En particular, la sismicidad en Chile se ha medido y estudiado desde hace años, sin embargo, prevalece gran desafío en esta área: el modelamiento de la ocurrencia de eventos sísmicos. Hasta hoy, sólo se sabe que la sismicidad natural cumple con dos leyes básicas, la Ley de Gutenberg-Richter (Gutenberg and Richter, 1956) y la Ley de Omori (Omori, 1894).

Muchos autores han propuesto modelos mecánicos basados en bloques unidos por medio de resortes (Georgoudas et al. 2007) para lograr reproducir el comportamiento de la sismicidad en la Tierra. En esta práctica se propone el desarrollo autómatas celulares basados en el trabajo de Bhattacharya and Manna (2007) el cual considera bloques unidos por resortes y da valores de ocupación a diferentes celdas en un plano, de acuerdo con el movimiento de estos bloques. Se utilizarán avalanchas que se propagan en el plano para simular la ocurrencia de un evento sísmico, con la finalidad de modelar estos eventos y así lograr reproducir las dos leyes conocidas en sismicidad.

Figura 1: Plano y ocupación de las celdas en las que ocurre un evento sísmico (izquierda). Distribución de réplicas para el modelo propuesto (derecha).

Referencias

B. Gutenberg, C.F. Richter, Ann. Geofis., 9 (1956), p. 1

Omori, F., On after-shocks of earthquakes, J. Coll. Sci. Imp. Univ. Tokyo, 7, 111-200, 1894b.

I.G. Georgoudas, G.Ch. Sirakoulis, I. Andreadis, Mathematical and Computer Modelling 46 (2007) 124-137.

K. Bhattacharya, S.S. Manna, Physica A 384 (2007) 15 – 20.

Los sistemas macroscópicos mantenidos fuera del equilibrio termodinámico por medio de inyección de energía exhiben interesantes comportamientos dinámicos tales como oscilaciones, comportamientos caóticos, y patrones entre otros. Los patrones se caracterizan por ser auto organización espacial que exhibe algún motivo que se repite espacialmente, ejemplos típicos de esto son las dunas, las montañas, pelajes de mamíferos, alas de mariposas, huellas digitales, formas de la mano del ser humano.

Estructuras disipativas en sistemas disipativos

Prof.: Marcel G Clerc.

Cupo: 1

Los sistemas macroscópicos mantenidos fuera del equilibrio termodinámico por medio de inyección de energía exhiben interesantes comportamientos dinámicos tales como oscilaciones, comportamientos caóticos, y patrones entre otros. Los patrones se caracterizan por ser auto organización espacial que exhibe algún motivo que se repite espacialmente, ejemplos típicos de esto son las dunas, las montañas, pelajes de mamíferos, alas de mariposas, huellas digitales, formas de la mano del ser humano.

Con el objetivo de entender los mecanismos y caracterización de la auto organización nosotros hemos considerados películas delgadas de cristales líquidos dopadas con colorantes (moléculas foto sensible) sometidas a intensos rayos de luz [1- 4], como resultado de la fotoisomerización, se observan complejos patrones dinámicos (ver figura).

El objetivo de la practica de verano será realizar estudio experimental y teórico de la autororganización en películas de cristales líquidos con nuevos dopantes y con retro inyección óptica. En Particular, se caracterizará la dinámica la emergencia de patrones, la propagación sobre otros estados, interacción de defectos entre otros fenómenos. Los experimentos serán realizados en el laboratorio de fenómenos robustos en óptica (LAFER, <https://www.cec.uchile.cl/~lafer/>).

Estudiante postgrado encargado: Lucciano Letelier

Requisito: Mecánica Clásica.

Bibliografía

[1] V. Odent, M.G. Clerc, C. Falcon, U. Bortolozzo, E. Louvergneaux, and S. Residori, "Photoisomerization fronts in dye-doped nematic liquid crystals," Opt. Lett. 39, 1861 (2014).

[2] I. Andrade-Silva, U. Bortolozzo, M.G. Clerc, G. Gonzalez-Cortes, S. Residori, and M. Wilson, "Spontaneous light-induced Turing patterns in a dye-doped twisted nematic layer," Sci. Rep. 8, 12867 (2018).

[3] I. Andrade-Silva, U. Bortolozzo, C. Castillo-Pinto, M.G. Clerc, G. González-Cortés, S. Residori and M. Wilson "Dissipative structures induced by photoisomerization in a dyedoped nematic liquid crystal layer," Phil. Trans. R. Soc. A. 376, 20170382 (2018).

[4] C. Castillo-Pinto, M.G. Clerc, and G. González-Cortés "Extended stable equilibrium invaded by an unstable state," Sci. Rep. 9, 15096 (2019).

[5] Marcel G. Clerc, Gregorio Gonzalez-Cortes, Paulina I. Hidalgo, Lucciano A. Letelier, Mauricio J. Morel and Jorge Vergara, Appl. Sci. 11, 5285 (2021).

Patrones laberinticos en cristales líquidos colestéricos

Prof.: Marcel G Clerc.

Cupo:1

Cristales líquidos colestéricos presentan una transición que dan origen a patrones laberintos topológicos [1,2]. El objetivo de la práctica de verano será realizar estudio experimental y teórico del origen y caracterización de patrones laberinticos. En Particular, se caracterizará la dinámica la emergencia y mecanismos de desaparición de laberintos, la propagación de frentes, (LAFER, <https://www.cec.uchile.cl/~lafer/>).

Estudiante postgrado encargado: Sebastián Echeverría

Requisito: Mecánica Clásica.

Bibliografía

- [1] P. Oswald and P. Pieranski, Nematic and Cholesteric Liquid Crystals (CRC Press, London, 2005).
- [2] S. Echeverría-Alar and M.G. Clerc, Labyrinthine patterns transitions, Phys. Rev. Research 2, 042036(R) (2020).

Formación de patrones de vegetación en climas semiáridos y áridos:

Prof.: Marcel G Clerc.

Cupo:1

Uno de los fenómenos intrigantes de auto organización es la formación de patrones de plantas en ecosistemas áridos o semiáridos [6 14]. Dependiente sobre la escasez de agua y nutrientes, y la topografía, la biomasa se puede organizar en hexágonos desordenados, laberintos, mosaicos de parches o huecos vegetativos, y rayas (ver figuras). El objetivo de la práctica de verano será realizar estudio teórico y numérico del origen y caracterización de la formación de patrones de vegetación.

Estudiante postgrado encargado: David Pinto

Requisito: Mecánica Clásica.

Bibliografía

- [1] C. A. Klausmeier. Regular and irregular patterns in semiarid vegetation. Science, 284, 1826 (1999).
- [2] R. HilleRisLambers, M. Rietkerk, F. van den Bosch, H.H. Prins, and H. de Kroon. Vegetation pattern formation in semi-arid grazing systems. Ecology, 82, 50 (2001).
- [3] J. von Hardenberg, E. Meron, M. Shachak, and Y. Zarmi. Diversity of Vegetation Patterns and Desertification. Phys. Rev. Lett. 87, 198101 (2001).
- [4] O. Lejeune, M. Tlidi, and P. Couteron. Localized vegetation patches: a self-organized response to resource scarcity. Physical Review E 66, 010901 (2002).
- [5] I. Bordeu, M.G. Clerc, P. Couteron, R. Lefever, and M. Tlidi. "Self-Replication of Localized Vegetation Patches in Scarce Environments. Sci. Rep. 6, 33703 (2016).

Dinámica de vórtices atrapados por trampas magnéticas

Prof.: Marcel G Clerc.

Cupo: 1

En la última década se ha realizado un gran esfuerzo en entender la generación de vórtices ópticos debido a sus aplicaciones como pinzas ópticas, encriptación de telecomunicaciones, transmisión de comunicaciones en el espacio libre, métodos de tratamiento de imágenes, elementos para computación cuántica, entre otras. Nosotros basados en cristales líquidos con paredes fotosensibles, hemos sido capaces de generar vórtices ópticos en forma eficiente (ver figura) [1-6]. Recientemente, por medio de anillos magnéticos [7], hemos sido capaces de inducir vórtices manipulables en un cristal líquido. El objetivo de la práctica de veranos será estudiar experimental y teóricamente la interacción de vórtices por medio de forzamientos magnéticos topológicos. Los estudios experimentales se llevarán a cabo en el laboratorio de fenómenos robustos en óptica (LAFER, <https://www.cec.uchile.cl/~lafer/>).

Estudiante postgrado encargado: Roberto Gajardo

Requisito: Mecánica Clásica.

Bibliografía

- [1] R. Barboza, U. Bortolozzo, G. Assanto, E. Vidal-Henriquez, M. G. Clerc, and S. Residori, "Vortex Induction via Anisotropy Stabilized Light-Matter Interaction," *Phys. Rev. Lett.* 111, 093902 (2013).
- [2] R. Barboza, U. Bortolozzo, G. Assanto, E. Vidal-Henriquez, M. G. Clerc, and S. Residori, "Harnessing Optical Vortex Lattices in Nematic Liquid Crystals," *Phys. Rev. Lett.* 109, 143901 (2012).
- [3] R. Barboza, U. Bortolozzo, M. G. Clerc, S. Residori, and E. Vidal-Henriquez, "Optical vortex induction via light-matter interaction in liquid-crystal medial," *Adv. Opt. Photonics* 7, 635 (2015).
- [4] R. Barboza, U. Bortolozzo, S. Residori, M. G. Clerc, and E. Vidal-Henriquez, "Light-matter interaction induces a single positive vortex with swirling arms," *Philos. Trans. R. Soc. A.* 372, 20140019 (2014).
- [5] R. Barboza, M.G. Clerc, U. Bortolozzo, J.D. Davila, M. Kowalczyk, S. Residori, and E. Vidal-Henriquez, "Light-matter interaction induces a shadow vortex," *Phys. Rev. E* 93, 050201(R) (2016).
- [6] E. Calisto, M.G. Clerc, M. Kowalczyk, and P. Smyrnelis, "On the origin of the optical vortex lattices in a nematic liquid crystal light valve," *Opt. Letts.* 44, 2947 (2019).
- [7] Enrique Calisto, Marcel G. Clerc, and Valeska Zambra "Magnetic field-induced vortex triplet and vortex lattice in a liquid crystal cell," *Phys. Rev. Research* 2, 042026(R) (2020).

Formación de estructuras disipativas en válvulas ópticas en transmisión

Prof.: Marcel G Clerc.

Cupo:1

Válvulas ópticas con retro inyección óptica, son un sistema flexible que exhibe estructuras disipativas tales como patrones, estructuras localizadas, oscilaciones y caos espacio temporal (ver figura) [1]. El objetivo de la practica de veranos será montar experimentalmente una válvula óptica en transmisión y describir teóricamente las estructuras disipativas de este sistema. Los estudios experimentales se llevarán acabo en el laboratorio de fenómenos robustos en óptica (LAFER, <https://www.cec.uchile.cl/~lafer/>).

Estudiante postgrado encargado: Pedro Aguilera

Requisito: Mecánica Clásica.

Bibliografía

- [1] P.J. Aguilera-Rojas, M.G. Clerc, G. Gonzalez-Cortes, and G. Jara-Schulz, "Localized standing waves induced by spatiotemporal forcing," *Phys. Rev. E* 104, 044209 (2021).
- [2] K. Alfaro-Bittner, C. Castillo-Pinto, M.G. Clerc, G. González-Cortés, G. Jara-Schulz, and R. G. Rojas, "Front propagation steered by a high-wavenumber modulation: Theory and experiments," *Chaos* 30, 053138 (2020).
- [3] F. Alvarez-Garrido, M.G. Clerc, and G. Gonzalez-Cortes "Transition to Spatiotemporal Intermittency and Defect Turbulence in Systems under Translational Coupling," *Phys. Rev. Lett.* 124, 164101 (2020).

Dinámica de frentes en osciladores de Duffing acoplados con elementos no recíprocos

Prof.: Marcel G Clerc.
Cupo:1

Las cadenas de osciladores acoplados exhiben propagación de energía por medio de ondas, pulsos y frentes. El acoplamiento no recíproco modifica radicalmente la dinámica de onda no lineales [1]. El objetivo de la práctica de verano será estudiar ondas no lineales (frentes) teórica y numéricamente cadenas osciladores de Duffing con acoplamiento no recíproco a vecinos más cercanos. El acoplamiento no recíproco induce una inestabilidad convectiva y comportamientos caóticos espaciotemporal entre equilibrios. Estos comportamientos serán caracterizados cuidadosamente.

Estudiante postgrado encargado: Martin Bataille
Requisito: Mecánica Clásica.

Bibliografía

[1] D. Pinto-Ramos, K. Alfaro-Bittner, M.G. Clerc, and R.G. Rojas, "Nonreciprocal Coupling Induced Self-Assembled Localized Structures," Phys. Rev. Lett.126, 194102 (2021).

Clustering of self-propelled particles: Interplay between motility properties and nutrient competition

Vacancies: 1

Supervision: Pablo de Castro () and Rodrigo Soto (rsoto@dfi.uchile.cl)

Active matter is composed of a large number of self-propelled particles, with examples encompassing bacterial swarms, animal flocks, and autophoretic colloids [1]. Many of its new behaviors are relevant to applications ranging from biology to industry. A collection of active particles can spontaneously separate into dense and dilute regions even without attractive forces. This process, known as motility-induced phase separation, occurs if the propulsion direction is sufficiently persistent against fluctuations, in which case there is enough time for the particles to trap each other and form large clusters [2]. In this project, we will perform minimalistic lattice simulations of active particles undergoing motility-induced clustering while they compete for nutrients (or fuel). We will consider the scenario where the motility properties, i.e., self-propulsion speed and reorientation rate, change if the particle has absorbed nutrients, returning to previous values after a finite time period. The nutrients will be randomly distributed in time and space. This model creates "mixtures" of active particles characterized by different time-varying motility parameters. It is known that the average cluster size of such active mixtures depends on the width of the distribution of motility properties, but so far this has been studied only for motility properties that are constant in time [3, 4]. This project will allow us to provide insights into how a nutrient-motility coupling affects pattern formation in active matter, which is expected to be useful for biologists as well as for researchers investigating novel functions in artificial active materials.

References:

- [1] Active Particles in Complex and Crowded Environments: <https://arxiv.org/abs/1602.00081>
- [2] Run-and-tumble dynamics in a crowded environment: Persistent exclusion process for swimmers. <https://bit.ly/30Cv9CD>
- [3] Diversity of self-propulsion speeds reduces motility-induced clustering in confined active matter. <https://arxiv.org/pdf/2107.04049.pdf>
- [4] Active mixtures in a narrow channel: Motility diversity changes cluster sizes. <https://arxiv.org/abs/2011.08905>

Influencia de la fractalidad del forzamiento sobre la turbulencia en plasmas espaciales

Victor Muñoz
Cupo: 1

Eventos tales como llamaradas solares, nubes magnéticas o tormentas geomagnéticas, son algunas manifestaciones de la compleja dinámica en el plasma interplanetario. Los llamados modelos de capas [1] son un tipo de modelo sencillo que permiten modelar la turbulencia magnetohidrodinámica en plasmas espaciales, sin los costos computacionales usualmente asociados a la simulación directa de la turbulencia.

En una serie de trabajos anteriores, hemos estudiado la fractalidad de la serie de tiempo de la energía magnética disipada en el modelo de capas de Gledzer-Ohkitani-Yamada (GOY) [2], y mostrados resultados similares a los encontrados para observaciones de actividad geomagnética [3], mostrando que este modelo es útil para estudiar la turbulencia en la magnetosfera terrestre bajo la influencia del viento solar. Sin embargo, dada la variabilidad del viento solar, es interesante estudiar el efecto del tipo de forzamiento sobre el modelo de capas. Recientemente hemos estudiado este problema forzando el modelo de capas GOY con datos provenientes de observaciones del viento solar, sugiriendo una correlación interesante entre la actividad solar en distintos momentos del ciclo solar, y la disipación de energía [4]. En esta practica de verano, proponemos profundizar en el estudio sistemático de este problema, forzando el modelo de capas con series de tiempo fractales, y evaluando cómo depende la actividad de disipación de energía de la dimensión fractal del forzamiento.

Referencias

- [1] P. D. Ditlevsen, Turbulence and Shell Models, Cambridge University Press, 2011.
- [2] M. Domínguez, G. Nigro, V. Muñoz, and V. Carbone, Study of fractal features of magnetized plasma through an MHD shell model, Phys. Plasmas 24, 072308, 2017.
- [3] M. Domínguez, V. Muñoz, and J. A. Valdivia, Temporal evolution of fractality in the Earth's magnetosphere and the solar photosphere, J. Geophys. Res. 119, 3585–3603, 2014.
- [4] V. Muñoz, M. Domínguez, G. Nigro, and M. Riquelme, Fractality of an MHD shell model for turbulent plasma driven by solar wind data: A review, J. Atmos. Sol. Terr. Phys. 214, 105524, 2021.

Grafos de visibilidad e irreversibilidad de series de tiempo

Victor Muñoz
Cupo: 1

Las redes complejas ofrecen un novedoso camino para estudiar complejidad en una gran diversidad de sistemas físicos. Por ello, su aplicación al estudio de series de tiempo es de gran interés, ya que las series de tiempo son la manera esencial en que recogemos información de nuestro entorno. Una propuesta en tal sentido es la de los grafos de visibilidad [1], que ha mostrado ser exitosa para caracterizar la complejidad de series de tiempo.

Recientemente, hemos estudiado la aplicación de este método al estudio de estrellas variables pulsantes, mostrando que el grafo de visibilidad permite discriminar entre algunos tipos de estrellas variables pulsantes. [2] Del mismo modo, hemos encontrado características universales de los grafos, independiente del tipo de estrella. Sin embargo, un problema aun por resolver es si la reversibilidad de las series de tiempo de estrellas pulsantes es un buen discriminador entre ellas. En esta práctica de verano, proponemos estudiar este tema usando tanto la medida tradicional de reversibilidad para grafos de visibilidad, la divergencia de Kullback-Leibler, [3] basada en la entropía de Shannon, como otras divergencias, basadas en entropías diferentes (p. ej., Tsallis). [4].

Referencias

- [1] L. Lacasa, B. Luque, F. Ballesteros, J. Luque, and J. C. Nuno, From time series to complex networks: The visibility graph, *Proc. Nat. Acad. Sci.* 105, 4972–4975, 2008.
- [2] V. Muñoz and N. E. Garcías, Analysis of pulsating variable stars using the visibility graph algorithm, *PLoS ONE* 16, e0259735, 2021.
- [3] T. M. Cover and J. A. Thomas, *Elements of Information Theory*, Wiley, New Jersey, 2006.
- [4] P. N. Rathie and P. Kannappan, A directed-divergence function of type β^* , *Information and Control* 20, 38–45, 1972.

Aceleración de electrones y su emisión tipo sincrotrón en discos de acreción en torno a agujeros negros

Cupos: 1

Profesor: Mario Riquelme (DFI)

Se sabe que los discos de acreción en torno a agujeros negros aceleran electrones, pero no se conoce con certeza el mecanismo de aceleración. Conocerlo es esencial para interpretar observaciones en múltiples longitudes de onda de estos sistemas. Por ejemplo, la interpretación de las observaciones que actualmente se realizan con el Event Horizon Telescope (<https://eventhorizontelescope.org/>) de sistemas como M87 o Sgr A* requieren entender la eficiencia con que se deberían acelerar los electrones bajo distintas condiciones del plasma [1].

En un trabajo anterior, hemos usado simulaciones de plasmas para estudiar aceleración de electrones por interacciones onda-partículas en estos discos [2]. Proponemos para esta práctica de verano utilizar este tipo de simulaciones para obtener la emisión de estos plasmas por radiación tipo sincrotrón, y compararla con observaciones. La práctica puede ser remota o semipresencial.

- [1] The Event Horizon Telescope Collaboration 2019, *ApJL*, 875, L5
- [2] Riquelme, M., Osorio, A. & Quataert, E. 2017, 850, 113

Excitación de estados cuánticos durante el universo primordial

1 estudiante

Profesor: Gonzalo Palma

Hoy por hoy, sabemos que la estructura de gran escala del universo (compuesta por galaxias) debe su existencia a pequeñas fluctuaciones del espacio y el tiempo -fluctuaciones primordiales- ya presentes durante el Big-Bang. La teoría más aceptada para explicar el origen de estas fluctuaciones sostiene que ellas se deben a procesos cuánticos ocurridos antes del Big-Bang, durante una época conocida como inflación cósmica. En los modelos más sencillos de inflación, la generación de fluctuaciones cuánticas ocurre de forma adiabática. Sin embargo, es posible que durante inflación hayan ocurrido procesos no-adiabáticos, generando la excitación de estados cuánticos potencialmente observables.

En este proyecto se propone estudiar la generación de estados excitados utilizando tanto herramientas teóricas como numéricas. La generación de estados excitados puede ser comprendida a través de ecuaciones diferenciales que gobiernan la evolución de coeficientes de Bogoliubov. Se espera que el o la estudiante estudie dichas ecuaciones y determine la existencia de comportamientos universales en la evolución de los coeficientes.

Refs: 2004.06106, 1809.05341

Generación de estados cuánticos en guías de onda

Profesora: Carla Hermann Avigliano

Cupos Estudiantes: máximo 2 por tópico, se decidirá luego de las aplicaciones.

Resumen: este trabajo teórico con enfoque experimental tiene como objetivo tratar de responder a dos preguntas abiertas:

- 1.- ¿Es posible generar estados comprimidos de 4 modos en arreglos de guías de ondas o similar? (tópico 1)
- 2.- ¿Es posible generar un súper estado comprimido? (tópico 2)
- 3.- ¿Es posible diseñar un análogo del modelo de Jaynes–Cummings en arreglos de guías de onda? (tópico 3)

Para esto el o la estudiante tendrá que estudiar primeramente los fundamentos básicos de la óptica cuántica, particularmente de los estados comprimidos de la luz o modelo de Jaynes–Cummings según el tópico. Luego deberá estudiar el operador de evolución o Hamiltoniano de operadores tipo Beam Splitter o guías de onda acopladas, o explorar un análogo del hamiltoniano de Jaynes–Cummings en ese tipo de sistemas. Una vez familiarizado con cada sistema, se deberán reproducir algunos cálculos conocidos sobre en cada tópico. Una vez superadas esas etapas, la idea avanzar en responder a las preguntas antes anunciadas, que a la fecha no tienen respuesta.

Referencias:

- (1) Manipulation of multimode squeezing in a coupled waveguide array, S. Rojas-Rojas, E. Barriga, C. Muñoz, P. Solano, and C. Hermann-Avigliano. Phys. Rev. A 100, 023841 (2019)
- (2) “Two-mode Squeezed Gaussons”, G. Yeoman & Stephen M. Barnett. Journal of Modern Optics, 40:8, 1497-1530.
- (3) Quantum optics: an introduction, Mark Fox.
- (4) Introductory quantum optics, C.C. Gerry and P.L. Knight.
- (5) Exploring the quantum, Serge Haroche y JM. Raimond
- (6) Quantum-optical analogies using photonic structures. Stefano Longhi (y varios otros trabajos de el)