

Contenido

| | |
|--|----|
| CH1: Metrología cuántica e información de Fisher..... | 2 |
| CH2: Generación de estados exóticos del CEM en átomos de 3 niveles de energía | 2 |
| FG01: Aggregation processes in layered environments | 3 |
| MC01: Patrones desordenados en 3D y sobre un casquete esférico..... | 4 |
| MC02: Redes de Abrikosov en cristales quirales | 5 |
| MC03: Transiciones topológicas fuera del equilibrio..... | 6 |
| MC04: Formación de patrones de vegetación en climas semiáridos y áridos | 6 |
| MC05: Dinámica de estructuras localizadas de sistema bistable óptico acoplada no recíprocamente..... | 8 |
| MC06: Separación de fase y transiciones de fases controladas ópticamente..... | 9 |
| MC07: transiciones de vórtices inducidos por luz..... | 9 |
| CF01: Radiación de Hawking-Unruh en flujos transónicos: medición bidimensional y matrices de transferencia..... | 10 |
| CF02: Mecánica de un origami aleatorio..... | 11 |
| DS01: Algoritmos genéticos: un aprendizaje de máquina en ayuda a la cosmología. | 12 |
| AN01: Dislocando imanes: relación entre texturas magnéticas topológicas y campos de dislocaciones | 13 |
| RV01: Jaulas Fotónicas..... | 14 |
| RV02: Transformaciones Unitarias Fotónicas..... | 15 |
| RV03: Cuerdas Fotónicas | 16 |
| RV04: Teleportación de Estados topológicos en redes fotónicas..... | 16 |
| RV05: Transporte de Levy en redes fotónicas desordenadas | 17 |
| RV06: Caracterización de guías de ondas y Redes Fotónicas | 18 |
| RV07: Imágenes no triviales para estudio de Redes Fotónicas | 19 |
| FM01: Search for new superconducting materials through Peierls distortion..... | 20 |
| FM02: Superlattice Topological States in Graphene Nanoribbons | 20 |
| FM03: Exploring a phenomenological model for 2D magnetic systems. | 21 |
| DP01: Analizando la reversibilidad en la serie de tiempo del terremoto de Iquique 2014 en Chile | 22 |
| RA01: Acoplamiento entre dispositivos ferromagnéticos | 23 |
| NZ01: La teoría de información y su conexión con la dinámica del horizonte de evento de un agujero negro y la definición de su temperatura y entropía asociada | 24 |
| NZ02: Estudio de la trayectoria de una particular de prueba en Relatividad General..... | 25 |
| EB01: Fabricación y caracterización de láminas delgadas magnéticas de cobalto fabricadas mediante deposición de vapor física (PVD)..... | 26 |
| MF01: Formación de películas delgadas de óxidos metálicos nanoestructurados | 27 |

| | |
|---|----|
| MF02: Fabricación y caracterización de películas delgadas de óxidos metálicos para baterías de ion-litio | 29 |
| MF03: Caracterización electroquímica de películas delgadas de óxidos metálicos funcionalizadas con moléculas autoensambladas para baterías de ion-litio | 30 |

CH1: Metrología cuántica e información de Fisher

Encargados: Timothy Woodwoth y Carla Hermann.

Cupo: 1

Resumen: El equipo de Óptica Cuántica de la Universidad de Chile invita a estudiantes interesados a participar en un proyecto teórico enfocado en metrología cuántica. El objetivo del proyecto es determinar los límites fundamentales de incertidumbre en la medición de valores de parámetros específicos. El alumno o alumna seleccionado(a) tendrá la responsabilidad de calcular el conocido límite cuántico de Cramér-Rao [1], herramienta esencial para predecir la ventaja cuántica máxima que un estado cuántico puede proporcionar en una medición determinada, previo a la ejecución de experimentos [2-3]. Los resultados de esta investigación contribuirán significativamente a establecer las mejores prácticas en la implementación de mediciones cuánticas de óptima precisión. El trabajo se desarrollará en colaboración con el postdoctorante Timothy Woodworth y el estudiante de maestría Fabián Ramírez.

Animamos a los aspirantes a mencionar en su carta de interés la posibilidad de extender su participación en el proyecto para desarrollar una tesis de postgrado en este campo de estudio.

Referencias:

- [1] Matteo G. A. Paris, Quantum estimation for quantum technology, *Int. J. Quant. Inf.* **7**, 125 (2009)
- [2] Timothy S. Woodworth, Kam Wai Clifford Chan, Carla Hermann-Avigliano, Alberto M. Marino, Transmission Estimation at the Cramér-Rao Bound for Squeezed States of Light in the Presence of Loss and Imperfect Detection, *Phys. Rev. A* **102**, 052603 (2020)
- [3] Timothy S. Woodworth, Carla Hermann-Avigliano, Kam Wai Clifford Chan, Alberto M. Marino, Transmission Estimation at the Fundamental Quantum Cramér-Rao Bound with Macroscopic Quantum Light, *EPJ Quantum*

CH2: Generación de estados exóticos del CEM en átomos de 3 niveles de energía

Profesora: Carla Hermann

Cupo: 1

Resumen: El equipo de Óptica Cuántica de la Universidad de Chile convoca a estudiantes con gran interés en la física teórica para unirse a un proyecto innovador centrado en la generación de estados macroscópicos cuánticos de radiación. La meta de esta investigación es profundizar en el estudio de la interacción entre materia y radiación, analizando específicamente la dinámica entre un campo cuánticamente descrito y un átomo con tres niveles de energía, en distintas configuraciones energéticas. La radiación que nos interesa estudiar puede ser tanto en el

régimen de las microondas como en el espectro óptico. El proyecto se llevará a cabo en colaboración con el profesor Pablo Solano, de la Universidad de Concepción, y Mariano Uria, estudiante de doctorado. Animamos a los aspirantes a mencionar en su carta de interés la posibilidad de extender su participación en el proyecto para desarrollar una tesis de postgrado en este campo de estudio.

Referencias:

- (1) Emergence of non-Gaussian coherent states through nonlinear interactions M. Uria, A. Maldonado-Trapp, C. Hermann-Avigliano, and P. Solano Phys. Rev. Research 5, 013165 – 2023. <https://doi.org/10.1103/PhysRevResearch.5.013165>
- (2) Deterministic Generation of Large Fock States M. Uria, P. Solano, and C. Hermann-Avigliano Phys. Rev. Lett. 125, 093603 – 2020. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.125.093603>

FG01: Aggregation processes in layered environments

Encargados: Francisca GuzmánLastra, Felipe Barros y Gabriel Aguayo.

Cupos:2

En esta práctica de verano estudiaremos teorica-numéricamente los procesos de agregación, inducido por la actividad de una alfombra activa [1]. Consideraremos partículas suspendidas en una columna de agua las que se verán agitadas por la agitación hidrodinámica de la alfombra [2]. La alfombra activa estará constituida por micronadadores flagelados, ya sean bacterias o microalgas que forman biopelículas en 2D [3]. Siguiendo el modelo de nadador entre dos interfaces de fluidos [4], estudiaremos cómo el confinamiento afecta a estos procesos fundamentales en la naturaleza.

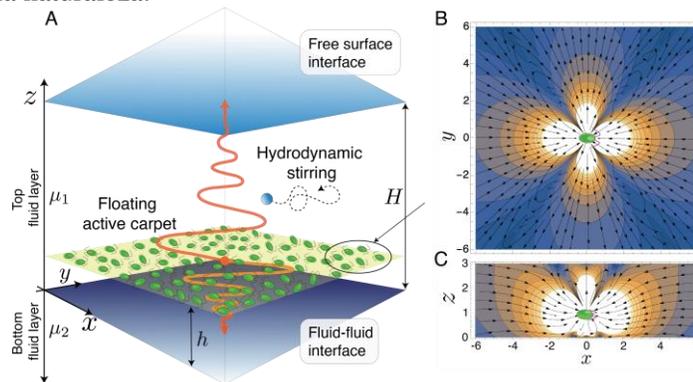


Figura 1: **A** Esquema de una alfombra activa de microalgas, confinada entre dos interfaces de fluidos. **B** Campo de velocidades generado por un micronadador en el plano en el que se mueven. **C** Campo de velocidades en el plano vertical.

Bibliografía:

- [1] Mathijssen, A. J., Guzmán-Lastra, F., Kaiser, A., & Löwen, H. (2018). Nutrient transport driven by microbial active carpets. *Physical Review Letters*, 121(24), 248101.
- [2] Durham, W. M., & Stocker, R. (2012). Thin phytoplankton layers: characteristics, mechanisms, and consequences. *Annual review of marine science*, 4, 177-207.
- [3] Grober, D., Palaia, I., Uçar, M. C., Hannezo, E., Šarić, A., & Palacci, J. (2023). Unconventional colloidal aggregation in chiral bacterial baths. *Nature Physics*, 1-9.

[4] Desai, N., & Ardekani, A. M. (2020). Biofilms at interfaces: microbial distribution in floating films. *Soft Matter*, 16(7), 1731-1750.

Los sistemas macroscópicos mantenidos fuera del equilibrio termodinámico por medio de inyección de energía, partículas y momentum 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.

MC01: Patrones desordenados en 3D y sobre un casquete esférico

Recientemente basados en modelos prototipo hemos caracterizado patrones desordenados laberínticos bidimensionales en diferentes contextos físicos, vegetación, reacciones químicas y sistemas ópticos [1-4]. Estos intrigantes patrones han sido observados sobre casquetes esféricos patrones (ver figura) y su respectiva extensión tridimensional. Sin embargo, su caracterización es un problema Abierto. **El objetivo de la práctica de verano será realizar estudio teórico de la autor-organización de patrones desordenados en 3D y sobre un casquete esférico.** En Particular, se caracterizará los diferentes patrones y transiciones entre estos.

Prof.: Marcel G Clerc.

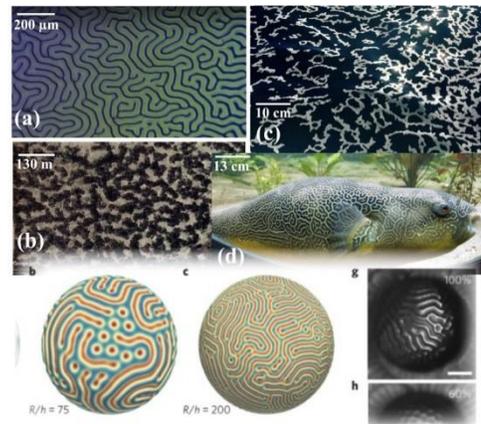
Estudiante postgrado encargado: Víctor Fernández

Requisito: Mecánica Clásica.

Vacante: 1 estudiante.

Bibliografía

- [1] S. Echeverría-Alar, and M.G. Clerc, Labyrinthine patterns transitions, *Phys. Rev. Research* 2, 042036(R) (2020)
- [2] M.G. Clerc, Echeverría-Alar and M. Tlidi, Localised labyrinthine patterns in ecosystems, *Scientific Reports* 11, 18331 (2021).
- [3] M.G. Clerc, S. Echeverría-Alar, and M. Tlidi, Localized states with nontrivial symmetries: Localized labyrinthine patterns, *Phys. Rev. E* 105, L012202 (2022).
- [4] M.G. Clerc, G. González-Cortés, and S. Echeverría-Alar, Localized dissipative vortices in chiral nematic liquid crystal cells, *Phys. Rev. Research* 4, L022021 (2022).



MC02: Redes de Abrikosov en cristales quirales

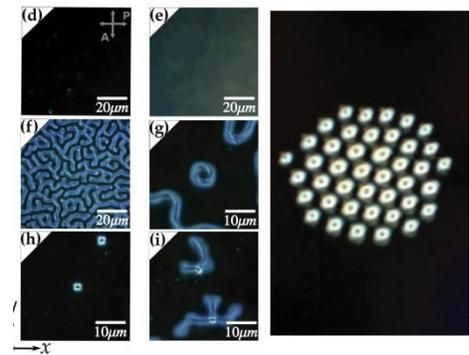
La inclusión de moléculas quirales en cristales líquidos nemáticos hacen que estos exhiban inesperados comportamientos como burbujas quirales (esferulitas), patrones laberínticos topológicos, estados homogéneos quirales entre otros [1-3], ver figura. Las esferulitas son soluciones localizadas topológicas (vórtices localizados). La interacción y la auto organización de estas estructuras no ha sido establecida. Recientemente en un experimento preliminar en una gota de cristal líquido quiral observamos como resultado la formación de una red hexagonal, ver figura. Esto es la contraparte de redes de vórtices topológicas predichas en el contexto de superconductores, condensados de Bose Einstein y superfluidos. **El objetivo de la práctica de verano será realizar estudio experimental y teórico de redes de vórtices localizados en cristales líquidos quirales.** En Particular, se caracterizará la interacción de los vórtices localizados, la formación de las redes como función de la temperatura y tamaño de las gotas. Los estudios experimentales se llevarán a cabo en el laboratorio de fenómenos robustos en óptica (LAFER, <https://www.cec.uchile.cl/~lafer/>).

Prof.: Marcel G Clerc.

Estudiante postgrado encargado: Victor Fernández

Requisito: Mecánica Clásica.

Vacante: 1 estudiante.

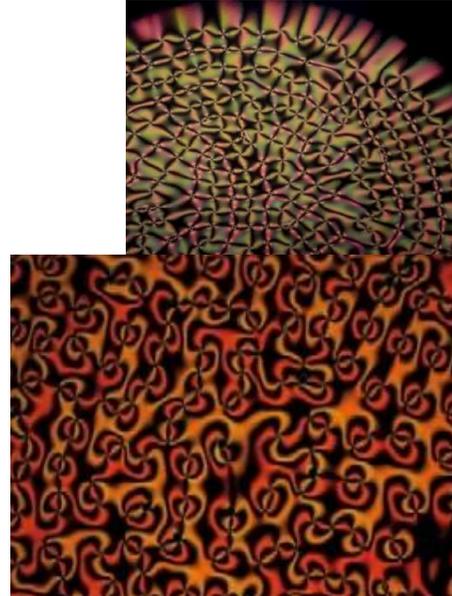


Bibliografía

- [1] P. G. de Gennes and J. Prost, The Physics of Liquid Crystals, 2nd ed. (Clarendon Press, Oxford, UK, 1993).
- [2] P. Oswald and P. Pieranski, Nematic and Cholesteric Liquid Crystals (CRC Press, London, 2005).
- [3] M.G. Clerc, G. González-Cortés, and S. Echeverría-Alar, Localized dissipative vortices in chiral nematic liquid crystal cells, Phys. Rev. Research 4, L022021 (2022)

MC03: Transiciones topológicas fuera del equilibrio

Recientemente se han observado transiciones topológicas fuera del equilibrio en celdas de cristal líquido por medio de la aplicación de gradientes térmicos [1] o baja frecuencia campos eléctricos [2, 3]. Dependiendo del voltaje y frecuencia, se observa que las transiciones topológicas son continuas o discontinuas, lo que presenta diferentes Autoorganizaciones de vórtices. El origen y mecanismo de la transición topológica fuera de equilibrio y la creación de redes de vórtices es un problema abierto. La práctica de verano tendrá como objetivo **estudiar teóricamente y experimentalmente las redes topológicas**. Particularmente se intentará modelar y caracterizar analíticamente, numéricamente y experimentalmente. El estudio experimental será realizado en el laboratorio de fenómenos fuera del equilibrio (LAFER, <https://www.cec.uchile.cl/~lafer/>).



Prof.: Marcel G Clerc.

Estudiante postgrado encargado: Roberto Gajardo

Requisito: Mecánica Clásica.

Vacante: 1 estudiante.

Bibliografía

- [1] P. Pieranski, E. Dubois-Violette, and E. Guyon, Heat convection in liquid crystals heated from above. *Phys. Rev. Lett.* 30, 736 (1973).
- [2] M.G. Clerc, M. Kowalczyk, and V. Zambra, Topological transitions in an oscillatory driven liquid crystal cell. *Sci. Rep.*, 10, 19324 (2020).
- [3] E. Calisto, M.G. Clerc and V. Zambra, Magnetic field-induced vortex triplet and vortex lattice in a liquid crystal cell, *Phys. Rev. Research* 2, 042026(R) (2020). [20] V. Fredericksz and V. Zolina, Forces causing the orientation of an anisotropic liquid, *Trans. Faraday Soc.* 29, 919 (1927).
- [21] M.G. Clerc, M. Ferre, R. Gajardo-Pizarro, and V. Zambra, Dancing vortices in a driven nematic liquid crystal cell: Theory and experiment, *Phys. Rev. E* 106, L012201 (2022).

MC04: Formación de patrones de vegetación en climas semiáridos y áridos

Uno de los fenómenos intrigantes de auto organización es la formación de patrones de plantas en ecosistemas áridos o semiáridos [1-8]. Dependiendo 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.**

Prof.: Marcel G Clerc.

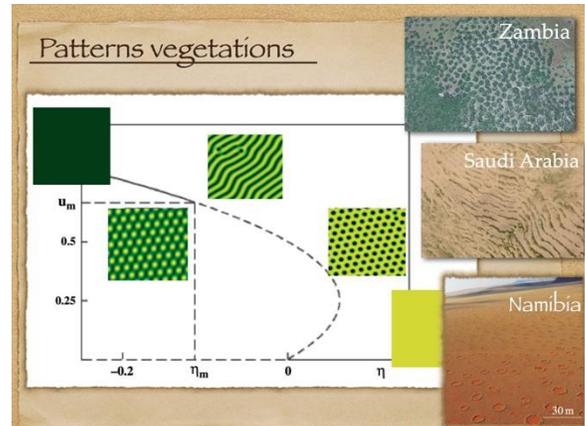
Estudiante postgrado encargado: Belén Hidalgo

Requisito: Mecánica Clásica.

Vacante: 1 estudiante.

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).
- [6] M. Tlidi, E. Berrios-Carob, D. Pinto-Ramo, A.G. Vladimirov, and M.G. Clerc, Interaction between vegetation patches and gaps: A self-organized response to water scarcity, *Physica D* 414, 132708 (2020).
- [7] M. Messaoudi, M.G. Clerc, E. Berrios-Carob, D. Pinto-Ramos, M. Khaffou. Makhoute, and M. Tlidi, Patchy landscapes in arid environments: Nonlinear analysis of the interaction redistribution model, *Chaos* 30, 093136 (2020).
- [8] D. Pinto-Ramos, S. Echeverria-Alar, M.G. Clerc, and M. Tlidi, Vegetation covers phase separation in inhomogeneous environments, *Chaos, Solitons and Fractals* 163, 112518 (2022).



MC05: Dinámica de estructuras localizadas de sistema bistable óptico acoplada no recíprocamente

Los sistemas dinámicos acoplados con elementos no recíprocos exhiben comportamientos inesperados como propagación en una única dirección y formación de patrones propagativos [1,2]. Basados en una válvula de cristal líquido con retro inyección óptica, experimentalmente se puede implementar sistemas bistables acoplados no recíprocamente, ver figura. **El objetivo de la práctica de veranos será estudiar experimental y teóricamente la formación de pulsos propagativos.** El acoplamiento no recíproco induce una inestabilidad convectiva y comportamientos caóticos espaciotemporales entre equilibrios. Estos comportamientos serán caracterizados cuidadosamente.

Prof.: Marcel G Clerc.

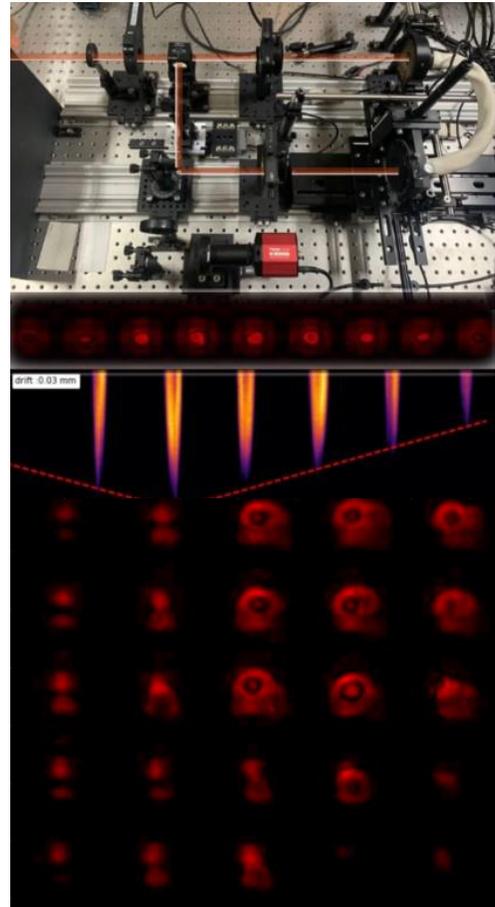
Estudiante postgrado encargado: Pedro Aguilera y Manuel Diaz,

Requisito: Mecánica Clásica.

Vacante: 1 estudiante.

Bibliografía

- [1] C. Coullais, D. Sounas, and A. Alù, Static nonreciprocity in mechanical metamaterials, *Nature (London)* 542, 461 (2017).
- [2] 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).



MC06: Separación de fase y transiciones de fases controladas ópticamente

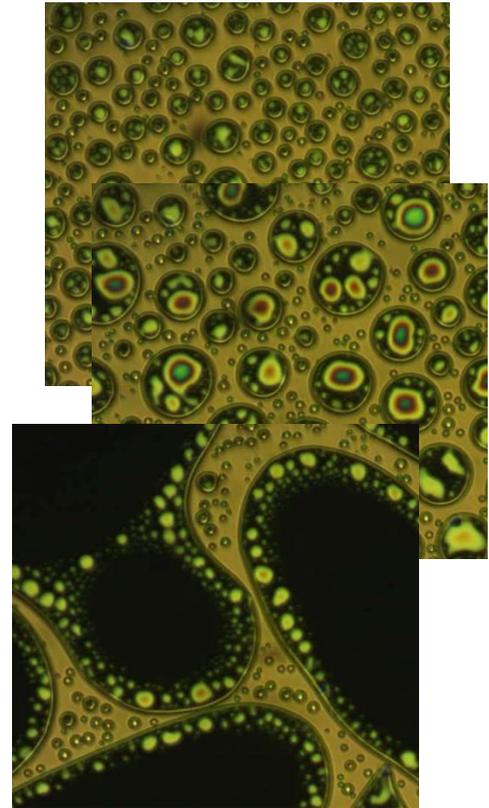
Recientemente hemos observado que cristales líquido con dopante foto sensibles al cambiar la temperatura cerca de la transición nemático-isotrópico exhiben una compleja dinámica, caracterizada por inicialmente una separación de fase, la cual posteriormente es acompañada por una separación de fase (propagación de un estado sobre el otro) . **El objetivo de la práctica de veranos será estudiar experimental y teóricamente separación de fase y transiciones de fases controladas ópticamente.** La idea principal será estudiar este fenómeno, pero ahora controlado ópticamente.

Prof.: Marcel G Clerc.

Estudiante postgrado encargado: Lucciano Letelier

Requisito: Mecánica Clásica.

Vacante: 1 estudiante.



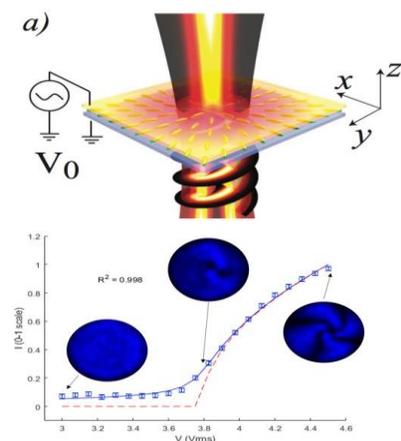
MC07: transiciones de vórtices inducidos por luz

Campos vectoriales exhiben intrigantes soluciones con propiedades topológicas [1]. Los cristales líquidos son sistemas naturales para estudiar soluciones topológicas con singularidades de fase, vórtices [1-5]. Basados en una válvula de cristal líquido en transmisión se pueden inducir vórtices [5-7]. En la figura izquierda se observan imágenes de vórtices observados en el laboratorio de fenómenos robustos en óptica. **El objetivo de la práctica de verano será caracterizar la transición entre diferentes de vórtices al modificar los parámetros experimentales.** El estudio es de naturaleza analítico, numérico y experimental.

Prof.: Marcel G Clerc.

Estudiante postgrado encargado: Pedro Aguilera y Manuel Diaz,

Requisito: Mecánica Clásica.



Vacante: 1 estudiante.

Bibliografía

- [1] L. M. Pismen, *Vortices in Nonlinear Fields* (Oxford Science, New York, 1999).
[2] S. Chandrasekhar, *Liquid Crystals* (Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1992). [3] P. G. de Gennes and J. Prost, *The Physics of Liquid Crystals*, 2nd ed. (Oxford Science/Clarendon, Oxford, UK, 1993).
[4] 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. Photon.* 7, 635 (2015).
[5] M. G. Clerc, M. Kowalczyk, and V. Zambra, Topological transitions in an oscillatory driven liquid crystal cell, *Sci. Rep.* 10, 19324 (2020).
[6] 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.* 109, 143901 (2012).
[7] R. Barboza, U. Bortolozzo, G. Assanto, E. Vidal-Henriquez, M. G. Clerc, and S. Residori, (Harnessing optical vortex lattices in nematic liquid crystals. *Physical review letters*, 111, 093902 2013)

CF01: Radiación de Hawking-Unruh en flujos transónicos: medición bidimensional y matrices de transferencia

Profesor: Claudio Falcón

Resumen: En un trabajo seminar, Unruh [1] encontró una manera creativa de conectar la condición cinemática predicha por Hawking [2] sobre la radiación térmica generada en el horizonte de eventos de un agujero negro con un análogo sónico proveniente de la mecánica de fluidos. Esta relación puede usarse para superar la dificultad experimental de observar astrofísicamente la radiación de Hawking in-situ. Desde entonces, varios análogos han sido propuestos en el contexto de ondas superficiales de gravedad [3–5], condensados de Bose-Einstein [6], ondas de spin en metales ferromagnéticos [7], ondas magnetohidrodinámicas [8] y muchas más. En 2011 Unruh y co-investigadores [9] midieron la radiación estimulada de Hawking (es decir, forzando el sistema para que éste radié) en un análogo de agujero blanco (reversión temporal de un agujero negro) usando ondas de superficiales de gravedad en presencia de un contraflujo sobre un obstáculo en el fondo, que luego fue repetido por diferentes grupos. El cambio de la profundidad causa un cambio en la velocidad del flujo v y en la celeridad de la onda de gravedad c , creando un horizonte de eventos análogo que es estimulado al enviarle un tren de ondas. Ondas cortas son generadas sobre el obstáculo por el scattering de la onda larga enviada, que son analizadas mediante imágenes.

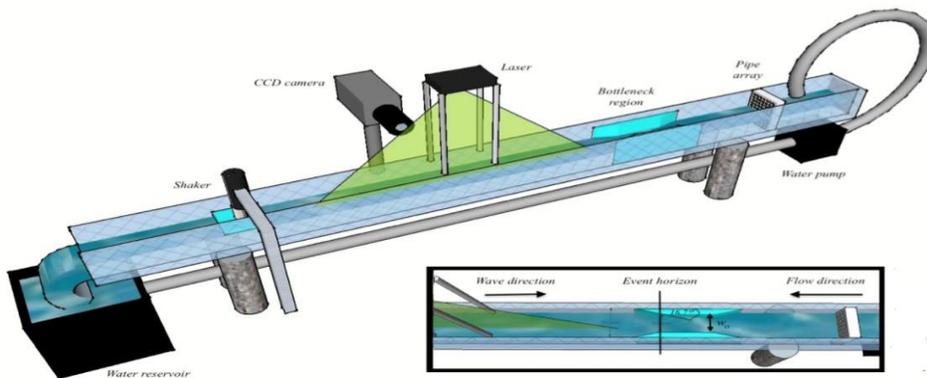


FIG. 1: Montaje experimental al cual se le implementará la técnica de Schlieren sintético.

En este Practica de Verano, se plantea estudiar experimentalmente el scattering de una onda superficial de gravedad en una configuración similar a la de Unruh [9] pero con obstáculos laterales generando un cuello de botella (bottleneck) que acelera el flujo sin cambiar la celeridad de la onda. Se plantea implementar una técnica de medición

superficial basada en la fotografía por difusión de luz [10] para medir las fluctuaciones locales en función de la frecuencia de la onda enviada, el caudal del contraflujo, el espesor de la capa de agua y el ancho de los obstáculos para construir el espectro de fluctuaciones.

Requerimientos: Conocimientos básicos de Matlab.

Cupos: 2 estudiantes.

Referencias:

- [1] W. Unruh, Phys. Rev. Lett. **46**, 1351–1353 (1981).
- [2] S.W. Hawking, Nature **248** 30-31 (1974)
- [3] R. Schu'tzhold and W. G. Unruh, Phys. Rev. D **66**, 044019 (2002).
- [4] F. Michel and R. Parentani, Phys. Rev. D **90**, 044033 (2014).
- [5] A. Coutant and S Weinfurtner, Phys. Rev. D **94**, 064026 (2016).
- [6] L. J. Garay, J. R. Anglin, J. I. Cirac and P. Zoller, Phys. Rev. Lett., **85(22)**, 4643 (2000); Phys. Rev. A **63**, 023611 (2001).
- [7] A. Roldán-Molina, A. S. Nun˜ez, and R. A. Duine, Phys. Rev Lett., **118(6)**, 061301 (2017).
- [8] F. A. Asenjo and N. Zamorano, arXiv:1102.2625v1 (2011). [9] S. Weinfurtner et al, Phys. Rev. Lett **106**, 021302 (2011).
- [10] W. B. Wright, R. Budakian, and S. J. Putterman. Phys. Rev. Lett. **76**, 4528 (1996); F. Haudin, A. Cazaubiel, L. Deike, T. Jamin, E. Falcon, and M. Berhanu, Phys. Rev. E **93**, 043110 (2016) [11] A. Coutant and S Weinfurtner

CF02: Mecánica de un origami aleatorio

Encargados: Ignacio Andrade, Claudio Falcón

Resumen: El origami (ori, pliege; kami, papel), el antiguo arte japonés del plegado de papel, ha servido de fuente de inspiración a muchos científicos e ingenieros para el diseño de estructuras artificiales, por ejemplo, estructuras desplegadas para la exploración espacial y robótica blanda [1]. Asimismo, muchos sistemas naturales (por ejemplo, las hojas de los árboles o el plegado de las alas de los insectos) siguen las reglas matemáticas del origami. Aquí, inspirándonos en el plegado de proteínas y del ADN [2], proponemos estudiar la mecánica de una hoja plegada alternadamente con longitudes de panel aleatorias (como lo muestra la figura). Recientemente, el estudio, al parecer ingenuo, de la mecánica de los pliegues en papel ha abierto interrogantes serias sobre la relación entre plasticidad y rigidez de estructuras plegables [3]. Una pregunta seria sobre esto es la definición del módulo de rigidez de una estructura en función del largo característico asociado a la escala de energía dominante del problema (el espesor de la hoja de papel, la longitud típica del panel, la curvatura en torno al pliegue o el tamaño de la hoja).

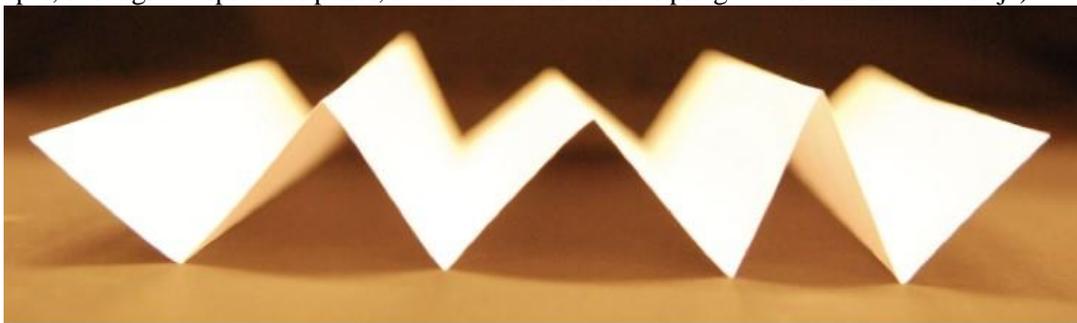


FIG. 1: (a) Esquema del montaje experimental a estudiar: plegado de una hoja de papel aleatorio.

Esta Práctica de Verano proponemos estudiar experimental y numéricamente la mecánica de una hoja plegada de manera aleatoria. El objetivo será racionalizar la mecánica de tracción e inferir reglas estadísticas generales de dicho sistema en función de parámetros geométricos y mecánicos [4, 5]. Experimentalmente, construiremos hojas plegadas usando Mylar de diferentes espesores (entre 50 y 500 μm) y diferentes largos (entre 10 y 1000 mm) que serán traccionadas utilizando una máquina de tracción (Instron 3400) con una celda de baja carga (50 N). Numéricamente se integrará la ecuación de la elástica de Euler [3] con condiciones de borde razonables y se pensará en utilizar softwares comerciales para modelar vía elementos finitos la estructura completa (ANSYS, por ejemplo).

Requerimientos: Conocimientos de métodos matemáticos de la física y/o mecánica del continuo. Conocimientos básicos de Matlab y/o Mathematica y/o Python y/o Julia. Conocimientos básicos de Mecánica Cuántica y de Fluidos.

Cupos: 2 estudiantes

Referencias:

[1] Evgueni T. Filipov, Tomohiro Tachi, and Glaucio H. Paulino. Origami tubes assembled into stiff, yet reconfigurable structures and metamaterials. Proc. Natl Acad. Sci. USA **112**, 12321–12326 (2015)

[2] Myoungseok Kim, Chanseok Lee, Kyoung-hwa Jeon, Jae Young Lee, Young-Joo Kim, Jae Gyung Lee, Hyunsu Kim, Maenghyo Cho and Do-Nyun Kim. Harnessing a paper-folding mechanism for reconfigurable DNA origami, Nature **619**, 78–86 (2023).

[3] F. Lechenault, B. Thiria, and M. Adda-Bedia. Mechanical Response of a Creased Sheet. Phys. Rev. Lett **112**, 244301 (2014); T. Jules, F. Lechenault, and M. Adda-Bedia. Plasticity and aging of folded elastic sheets. Phys. Rev. E **102**, 033005 (2020).

[4] Steven W. Grey, Fabrizio Scarpa, and Mark Schenk. Mechanics of paper-folded origami: A cautionary tale. Mechanics Research Communications **107** 103540 (2020)

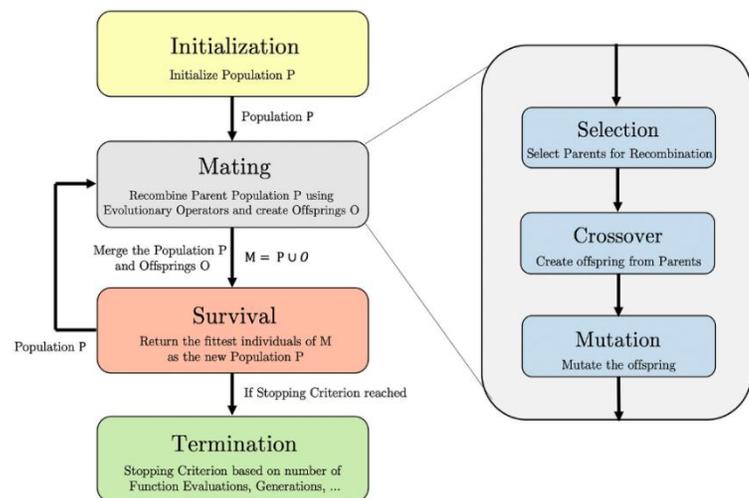
[5] Levi H. Dudte, Etienne Vouga, Tomohiro Tachi, and L Mahadevan. Programming curvature using origami tessellations. Nat. Mater. 15(5) 583-8 (2016)

DS01: Algoritmos genéticos: un aprendizaje de máquina en ayuda a la cosmología.

Profesor guía: Domenico Sapone

Vacantes: 1

Un algoritmo genético es un método de búsqueda heurística que imita el proceso de selección natural y la genética para resolver problemas de optimización y modelado. Forman parte de los algoritmos evolutivos y están inspirados en los principios de la teoría de la evolución de Darwin. Los algoritmos genéticos son especialmente útiles en problemas donde el espacio de búsqueda es grande y complejo, y no es fácil encontrar la mejor solución utilizando métodos de búsqueda directa o analítica. El funcionamiento de un algoritmo genético básico está ilustrado esquemáticamente en la figura.



En este trabajo se creará un algoritmo genético que sea capaz de encontrar las mejores soluciones de las funciones características que ajusten los datos: Pantheon [1], Cosmic chronometers [2], y crecimiento de estructuras [3].

Se tomará como punto de partida el artículo [4] y se adaptará a los nuevos datos. Dependiendo del desarrollo del trabajo se extenderá el algoritmo a los test de consistencias en [5].

Referencias

[1] <https://github.com/dscolnic/Pantheon>

[2] "A 6% measurement of the Hubble parameter at $z \sim 0.45$: direct evidence of the epoch of cosmic re-acceleration"

M. Moresco et al. JCAP 05 (2016) 014.

e-Print: <https://arxiv.org/pdf/1601.01701.pdf>

[3] "Internal Robustness of Growth Rate data".

B. Sagredo, S. Nesseris, D. Sapone, Phys.Rev.D 98 (2018) 8, 083543.

e-Print: <https://arxiv.org/pdf/1806.10822.pdf>

[4] "A new perspective on Dark Energy modeling via Genetic Algorithms",

S. Nesseris, J. Garcia-Bellido, JCAP 11 (2012) 033.

e-Print: <https://arxiv.org/pdf/1205.0364.pdf>

[5] "Euclid: Forecast constraints on consistency tests of the Λ CDM model"

Euclid Collaboration - S. Nesseris, D. Sapone et al., Astron.Astrophys. 660 (2022) A67

e-Print: <https://arxiv.org/pdf/2110.11421.pdf>

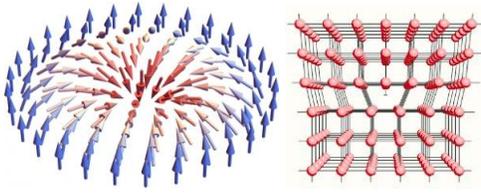
AN01: Dislocando imanes: relación entre texturas magnéticas topológicas y campos de dislocaciones

Profesor Encargado: Álvaro Núñez

En este trabajo se buscarán los principios físicos rectores de la interacción[1] entre una textura magnética y una dislocación. Ambos considerados como defectos topológicos interactuando a través de una teoría de gauge[2]. Los defectos topológicos son perturbaciones que surgen dentro de campos suaves y continuos, como aquellos utilizados en física para describir los estados de la materia. Estos defectos no son aleatorios, sino que tienen formas y estructuras específicas y estables. Pueden aparecer como simples puntos, líneas unidimensionales o incluso superficies bidimensionales. Lo que los hace particularmente interesantes es que son robustos; no puedes simplemente 'alisarlos'. Están de alguna manera 'incrustados' en el mismo tejido del campo o estado de la materia del que forman parte.

En física, estos defectos son más que una simple curiosidad. Tienen implicaciones reales y juegan roles fundamentales en diferentes ramas, como la física de la materia condensada, que trata sobre sólidos y líquidos y sus propiedades; la cosmología, el estudio del origen y la evolución del universo; y la teoría cuántica de campos, que es la teoría cuántica de campos y partículas. En cada una de estas áreas, la presencia de defectos topológicos puede alterar dramáticamente las características y dinámicas del sistema en el que habitan.

Por ejemplo, en la física de la materia condensada, la presencia de estos defectos puede cambiar cómo los materiales conducen la electricidad o responden a los campos magnéticos. En cosmología, pueden ofrecer pistas sobre las condiciones del universo temprano y ayudar a explicar la estructura a gran escala que observamos hoy en día. Y en la teoría cuántica de campos, son esenciales para comprender las interacciones de las partículas y las fuerzas fundamentales de la naturaleza.



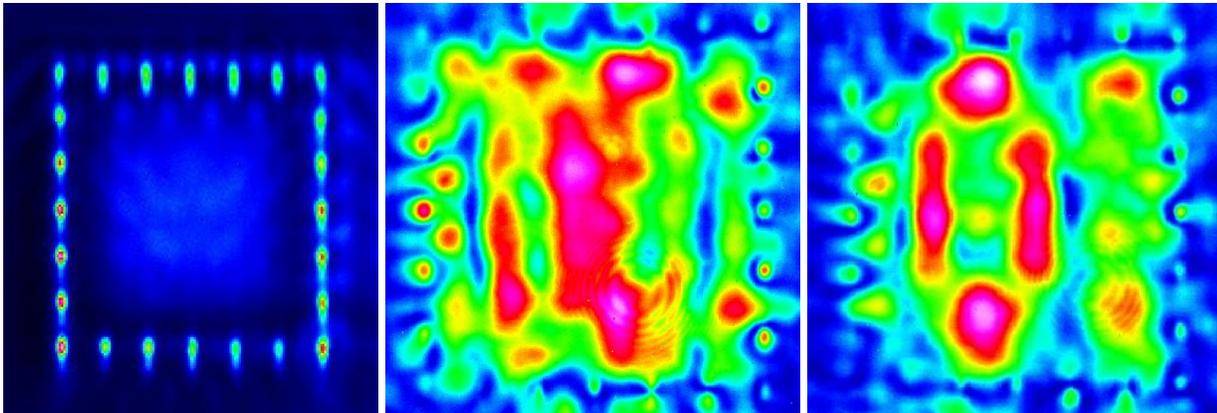
En esta práctica usaremos: teoría del micromagnetismo, teoría de elasticidad de dislocaciones, teoría de campos clásicos y teorías de gauge no abelianas. No es necesario manejar estas herramientas con antelación, la planificación incluye su aprendizaje dentro de la misma práctica.

[1] PHYSICAL REVIEW LETTERS 128, 157204 (2022)

[2] A. Di Pietro et al 2022 EPL 140 46003

RV01: Jaulas Fotónicas

Profesores: Rodrigo A. Vicencio, Grupo de Redes Fotónicas



Resumen: Hace unas dos décadas estuvo de moda el concepto de “Quantum Chaos” en el que se señalaba que ciertos sistemas cuánticos podían desarrollar una dinámica caótica [1]. Específicamente, se desarrolló el concepto de “Quantum Billiards” en donde, para condiciones iniciales cercanas, se observan trayectorias regulares o hiperbólicas (caóticas), lo que depende fuertemente del contorno específico del billar bajo estudio (cavidad). En esta práctica se propone estudiar *billares fotónicos* vía la fabricación de *Jaulas Fotónicas* como la mostrada en la figura-izquierda, cuyas paredes están compuestas por guías de ondas ópticas, o redes discretas 2D con contornos variables [2]. Las estructuras fotónicas serán fabricadas vía la técnica de escritura por láser de femtosegundos [3], técnica que nos permite construir estructuras tipo jaula a voluntad y explorar así la dinámica de haces en contornos diversos y con distinta longitud de onda en su interior, como por ejemplo, las figuras del centro y obtenidas para 620 nm.

Cupo: 1 estudiante.

Referencias:

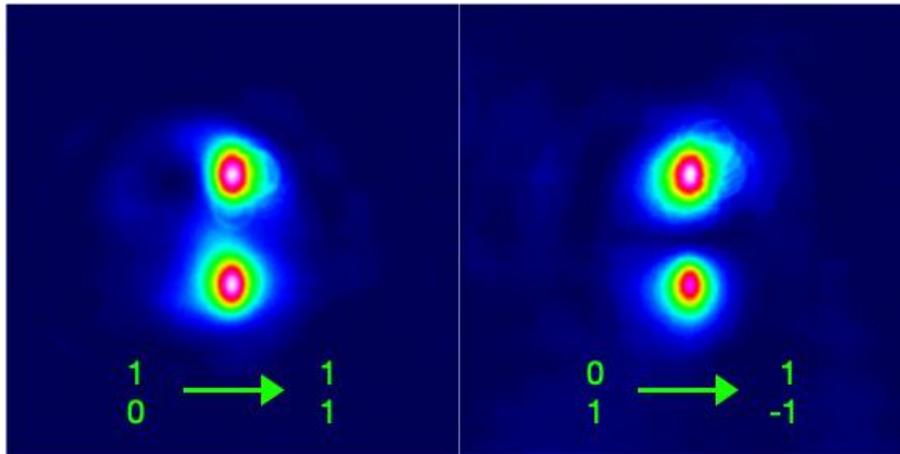
[1] A. Bäcker, “Quantum Chaos in Billiards,” *Computing in Science & Engineering* 9, 60 (2007).

[2] V. Fernández-Hurtado, et al., “Lattice scars: surviving in an open discrete billiard,” *New Journal of Physics* 16, 035005 (2014).

[3] D. Guzmán-Silva, G. Cáceres-Aravena, and R.A. Vicencio, “Experimental observation of interorbital coupling,” *Physical Review Letters* 127, 066601 (2021).

RV02: Transformaciones Unitarias Fotónicas

Profesores: Dardo Goyeneche (PUC) y Rodrigo A. Vicencio (DFI)



Resumen. En esta práctica proponemos simular clásicamente sistemas cuánticos. Primero, exploraremos cómo el comportamiento de luz clásica en sistemas fotónicos de 2^n guías de ondas tiene una correspondencia uno a uno con el comportamiento de un sistema cuántico de n qubits; es decir, cada guía de ondas abre una nueva dimensión en el espacio de Hilbert. Luego, avanzaremos con la implementación experimental de compuertas lógicas basadas en operaciones unitarias tipo Hadamard (ver figura), Pauli o CNOT. Así, podremos iniciar la implementación de un simulador de sistemas de computación cuántica de baja dimensión. Dentro de las aplicaciones están la tomografía cuántica, teleportación cuántica de 1 qubit, violación de desigualdades de Bell, implementación de protocolo de criptografía, y factorización de números [1].

Para la implementación experimental de esta práctica usaremos la técnica de fabricación vía láseres de femtosegundos [2], con la que podremos fabricar al interior de vidrio de borosilicato las estructuras fotónicas necesarias para este proyecto.

Cupo: 1 estudiante.

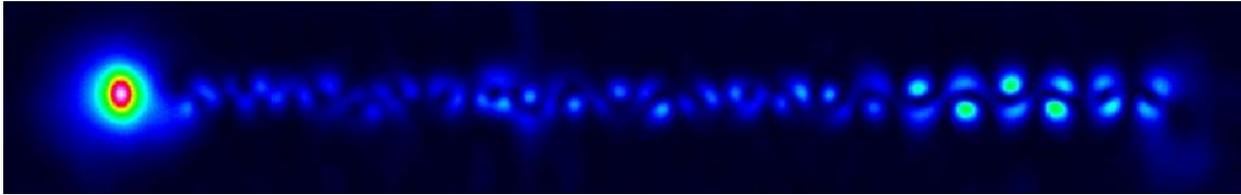
Referencias:

[1] N. Nielsen, I. Chuang, “Quantum information and quantum computation”, Cambridge University Press (2000).

[2] D. Guzmán-Silva, G. Cáceres-Aravena, and R.A. Vicencio, “Experimental observation of interorbital coupling,” *Physical Review Letters* 127, 066601 (2021).

RV03: Cuerdas Fotónicas

Profesores: Rodrigo A. Vicencio, Grupo de Redes Fotónicas



Resumen. La teoría de cuerdas continuas establece que estas tendrán un número infinito de modos de oscilación, dado que están constituidas por un número infinito de grados de libertad [1]. Un sistema discreto o red tiene un número finito de osciladores acoplados, los que presentarán un número finito también de auto-estados o modos de oscilación. La pregunta que intentaremos resolver en esta práctica es qué sucede en la transición entre un sistema continuo (infinito) y un sistema discreto (finito), respecto a los modos que estos sistemas pueden expresar. Por ejemplo, la figura arriba muestra la excitación de diversos modos espaciales luego de inyectar luz a una guía de ondas ubicada a la izquierda de una cuerda fotónica (a la derecha), la que está compuesta por 300 guías de ondas ópticas, cada una separada a 1 μm de distancia. Se observa cómo se expresan modos longitudinales, pero también transversales, lo que da lugar a una dinámica muy rica y más compleja del sistema bajo estudio. Este proyecto nos permitirá iniciar la construcción de una *teoría de cuerdas fotónicas*.

Para la implementación experimental de esta práctica usaremos la técnica de fabricación vía láseres de femtosegundos [2], con la que podremos fabricar al interior de vidrio de borosilicato las estructuras fotónicas necesarias para este estudio. Crearemos diversas *cuerdas fotónicas* donde estudiaremos la excitación de las mismas vía un láser supercontinuo con el que podremos excitar los diversos modos asociados, así como variar localmente las propiedades de la cuerda.

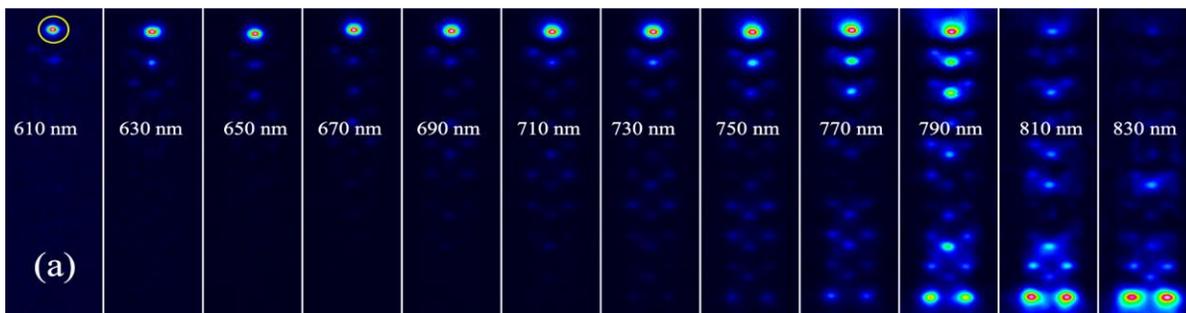
Cupo: 1 estudiante.

Referencias:

- [1] A.L. Fetter and J.D. Walecka, "Theoretical mechanics of particles and continua," Dover Publications, INC. 2003.
- [2] D. Guzmán-Silva, G. Cáceres-Aravena, and R.A. Vicencio, "Experimental observation of interorbital coupling," Physical Review Letters 127, 066601 (2021).

RV04: Teleportación de Estados topológicos en redes fotónicas

Profesores: Rodrigo A. Vicencio, Grupo de Redes Fotónicas



Resumen. Redes topológicas de diversa dimensión se caracterizan por tener estados de superficie asociados a ellas, los que están protegidos por las propiedades y simetrías de la red, siendo robustos a ciertos tipos de desorden [1]. En un estudio reciente [2] logramos demostrar que es posible transferir/teleportar un estado que vive en un extremo de la red hasta el borde opuesto, mediante la variación de la longitud de onda de excitación; lo que es equivalente a aumentar las constantes de acoplamiento entre las guías de ondas y, por ende, la longitud de propagación efectiva de la red fabricada.

Para la implementación experimental de esta práctica usaremos la técnica de fabricación vía láseres de femtosegundos [3], con la que podremos fabricar al interior de vidrio de borosilicato las estructuras fotónicas necesarias para este estudio. Crearemos diversas redes fotónicas topológicas y estudiaremos la transferencia de estados vía diversas variaciones de la red, desde la compresión geométrica de la misma hasta la variación de la longitud de onda de caracterización.

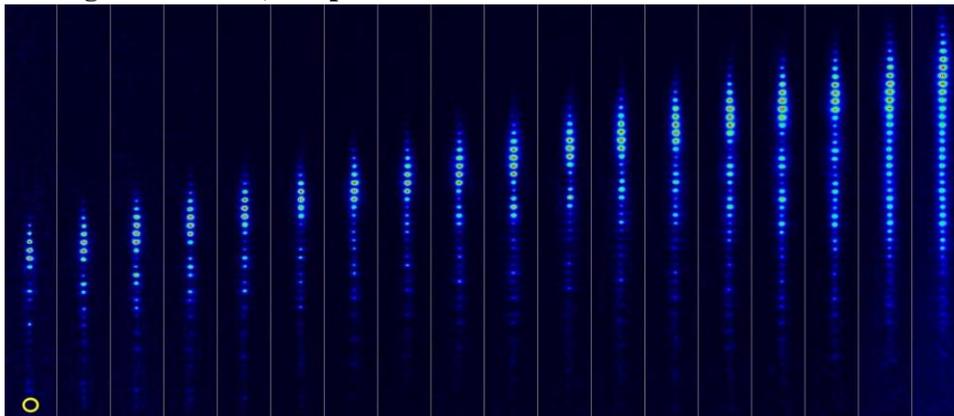
Cupo: 1 estudiante.

Referencias:

- [1] A.E. Hassan, et al., “Corner states of light in photonic waveguides,” *Nature Photonics* 13, 697 (2019).
- [2] G. Cáceres-Aravena, et al., “Edge-to-edge topological spectral transfer in diamond photonic lattices,” *APL Photonics* 8, 080801 (2023).
- [3] D. Guzmán-Silva, G. Cáceres-Aravena, and R.A. Vicencio, “Experimental observation of interorbital coupling,” *Physical Review Letters* 127, 066601 (2021).

RV05: Transporte de Levy en redes fotónicas desordenadas

Profesores: Rodrigo A. Vicencio, Grupo de Redes Fotónicas



Resumen. El transporte en sistemas desordenados es un problema fundamental en física, donde la localización de Anderson [1] y su primera observación experimental en redes fotónicas [2] constituyen una base para su entendimiento. Sin embargo, existen diversos tipos de desorden que promueven ventanas de localización diferentes; por ejemplo, bajo la estadística de Levy [3] son permitidos vuelos más largos de la luz, lo que es conocido como *Levy Flights*.

Para la implementación experimental de esta práctica usaremos la técnica de fabricación vía láseres de femtosegundos [4], con la que podremos fabricar al interior de vidrio de borosilicato las estructuras fotónicas necesarias para este estudio. Crearemos diversas redes fotónicas con desorden de tipo Normal (estándar) y de

Levy para estudiar el efecto de los distintos tipos de desorden y buscar así contrastes que propongan nuevos mecanismos de transporte en sistemas discretos desordenados.

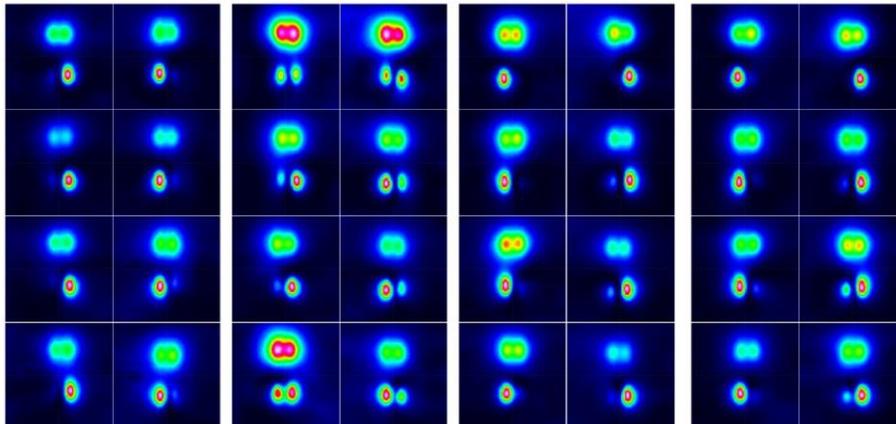
Cupo: 1 estudiante.

Referencias:

- [1] P.W. Anderson, "Absence of diffusion in certain random lattices," Phys. Rev. 109, 1492 (1958).
- [2] T. Schwartz, et al., "Transport and Anderson localization in disordered two-dimensional photonic lattices," Nature 446, 52 (2007).
- [3] A.A. Fernández-Marín, et al., "Beyond Anderson localization in 1D: anomalous localization of microwaves in random waveguides," Phys. Rev. Lett. 113, 233901 (2014). [4] D. Guzmán-Silva, G. Cáceres-Aravena, and R.A. Vicencio, "Experimental observation of interorbital coupling," Physical Review Letters 127, 066601 (2021).

RV06: Caracterización de guías de ondas y Redes Fotónicas

Profesores: Rodrigo A. Vicencio, Grupo de Redes Fotónicas



Resumen. Nuestro grupo estudia la dinámica de la luz en Redes Fotónicas, estructuras en donde existe una variación del índice de refracción de acuerdo a un patrón pre-diseñado. Estas luego son fabricadas con la técnica de escritura por láser de femtosegundos [1] (disponible en nuestro laboratorio) y, posteriormente, las muestras son caracterizadas con luz láser. Históricamente, nuestro grupo ha caracterizado las guías de ondas y redes fotónicas fabricadas con parámetros nominales medidos en experimentos recientes [2]. Con estos valores como base hemos propuesto diversas configuraciones más complejas, las que no necesariamente son constantes en el tiempo, debido a las distintas potencias y velocidades de escritura con la que operamos en los dos montajes de fabricación. En esta práctica buscamos fabricar diversas estructuras fotónicas, partiendo por guías individuales, moléculas, acopladores y redes fotónicas estándar. Luego de caracterizar experimentalmente estas estructuras, buscaremos mediante simulaciones discretas y continuas (BPM/Comsol) poder hallar los parámetros que mejor describan a las estructuras fotónicas bajo estudio, las que dependen fuertemente de los parámetros de fabricación de las mismas.

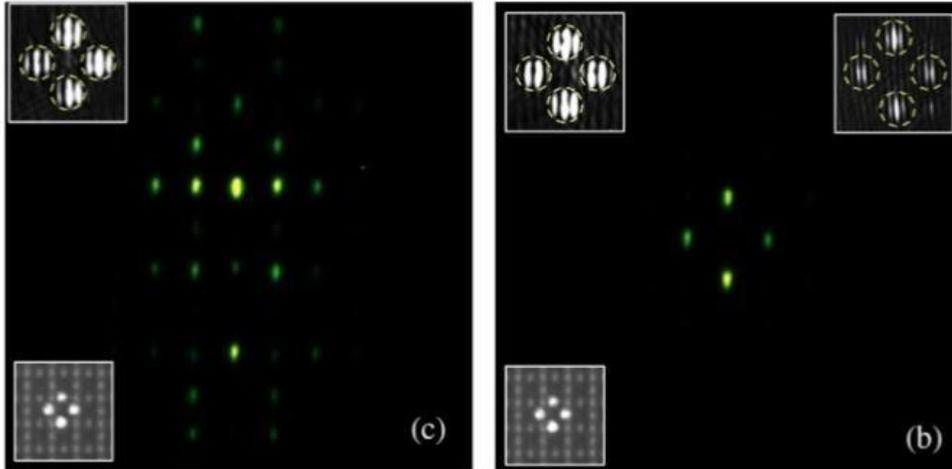
Cupo: 1 estudiante.

Referencias:

- [1] D. Guzmán-Silva, G. Cáceres-Aravena, and R.A. Vicencio, "Experimental observation of interorbital coupling," *Physical Review Letters* 127, 066601 (2021).
- [2] M. Mazanov, et al., "Photonic molecule approach to multi-orbital topology," arXiv:2310.03160v1 (2023).

RV07: Imágenes no triviales para estudio de Redes Fotónicas

Profesores: Rodrigo A. Vicencio, Grupo de Redes Fotónicas



Resumen. Las propiedades de localización y transporte de una red fotónica dependen fuertemente de la geometría de cada red. Los modos lineales de cada banda tienen una relación de amplitud y fase que dependen de la celda unitaria del sistema, relaciones que no son triviales de implementar en un experimento [1]. Por otro lado, un sujeto de estudio estándar en física es el concepto de *Ondas Planas*, las que corresponden a ondas que se extienden en todo el espacio y que, por ende, son imposibles de excitar en un experimento real. Un símil realista consiste en un perfil gaussiano, que mientras más ancho sea mejor representará a esta onda viajera [2].

En esta práctica, para lograr la preparación de condiciones iniciales no triviales, haremos uso de un modulador espacial de la luz (SLM) de reflexión, el que consiste esencialmente en un display de cristal líquido que se puede programar pixel a pixel permitiendo que la luz se refleje y/o adquiera una fase definida de acuerdo a la zona de interacción del haz láser con el SLM. En este trabajo aprenderemos desde óptica básica a compleja, tratando de obtener un control total de un haz de luz de acuerdo al experimento final a implementar, por ejemplo, en la excitación de estados vorticiales.

Cupo: 1 estudiante.

Referencias:

- [1] R.A. Vicencio, et al., "Observation of localized states in Lieb photonic lattices," *Physical Review Letters* 114, 245503 (2015).
- [2] C. Cantillano, et al., "Observation of dipolar transport in one-dimensional photonic lattices," *Science Bulletin* 62, 339 (2017).

FM01: Search for new superconducting materials through Peierls distortion

Francisco Munoz / Javiera Cabezas up to two students

Since the discovery of superconductivity in 1911 by H. Kamerling Onnes [1], this phenomenon has captivated the scientific community. Efforts are currently concentrated on discovering new superconductors with higher critical temperatures, to apply their properties in practical environments. Recently, superconductivity has been investigated in previously known but altered systems, such as twisted graphene [2] or hydrogenated graphene [3], with promising results. The possibility of achieving superconductivity in these and other examples lies in the ability to modify the atomic structure, which alters the electronic configuration of such systems and, consequently, their properties.

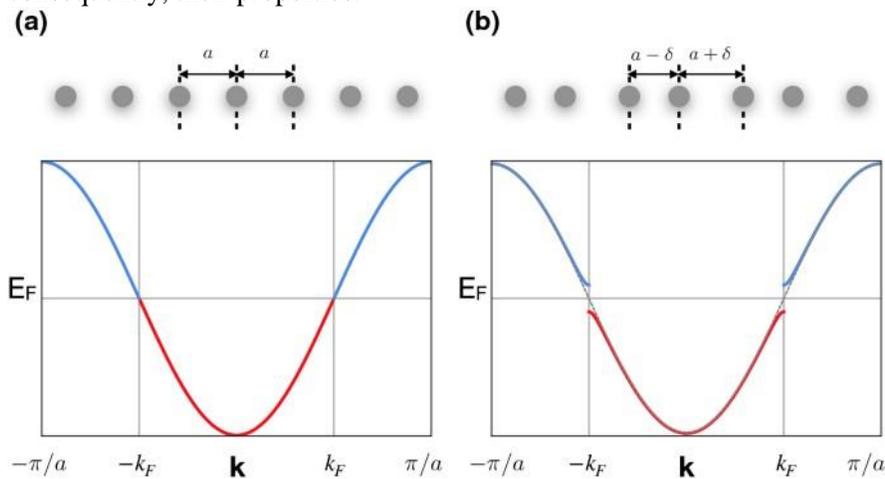


Figure 1: Illustration of a 1-D free electron system at half filling, before (a) and after (b) the Peierls instability transition. Chen, C. (2019). Introduction. In: On the Nature of Charge Density Waves, Superconductivity and Their Interplay in 1T-TiSe₂. Springer Theses. Springer, Cham.

In this practice, we propose to explore the search for new superconducting materials through Peierls distortion. We will use first-principles calculations to analyze the electronic and superconducting properties of these materials.

References

- [1] H. K. Onnes, The discovery of superconductivity, Commun. Phys. Lab 12, 120 (1911).
- [2] Cao Y, Fatemi V, Fang S, Watanabe K, Taniguchi T, Kaxiras E and Jarillo-Herrero P 2018 Nature 556 43 [3]
- Qing Lu et al 2022 New J. Phys. 24 113013

FM02: Superlattice Topological States in Graphene Nanoribbons

Francisco Munoz / Loreto Martinez 1 or 2 students.

One-dimensional models are a very engaging playground for simple models. Among them, the monatomic chain and the Su-Schiffier-Hegger (SSH) model[1] have a special place in physics. Graphene nanoribbons (GNR) superlattices in the low-energy limit can resemble these models, providing an experimental platform to test these models.

Fig. 1: The SSH model and its realization in edge-extended graphene nanoribbons.

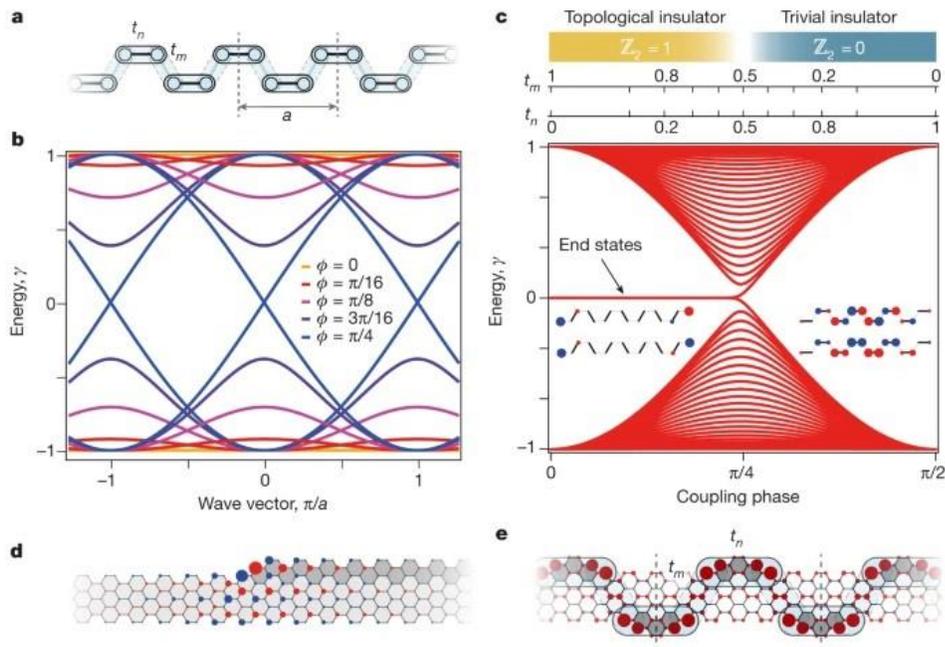


Figure taken from Ref [2]. Panels (a-c) show the topological transition in the SSH model. (d) Localized states on the boundary of GNRs. (e) Effective SSH model built from a SSH superlattice. In this summer internship we will explore different models created from these superlattice states. Among the possibilities to explore we can mention magnetism, electron-phonon coupling, etc.

[1] Asbóth, J. K., Oroszlány, L., & Pályi, A. arXiv:1509.02295. [2] Gröning, et al. Nature, 560, 209-213 (2018).

FM03: Exploring a phenomenological model for 2D magnetic systems.

Profesors: Andrea León / Francisco Muñoz

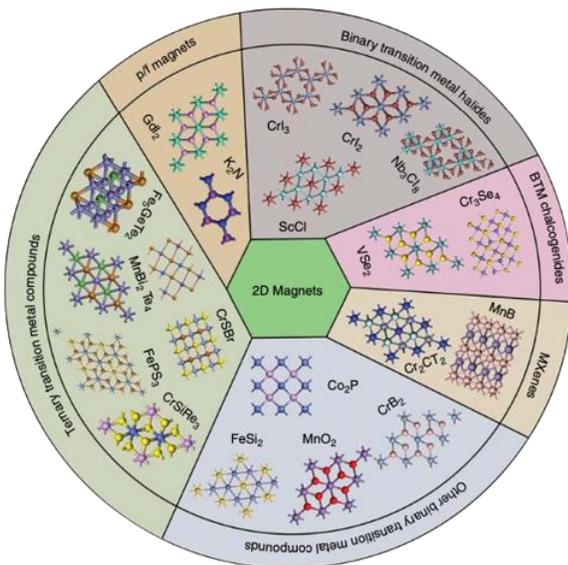
In the field of 2D materials, most of the fascinating physical phenomena of fundamental physics are emerging, such as superconductivity, topological insulators, multiple phase transitions, 2D magnetism, among others. The comprehension of the origin of these phenomena represents one of the great challenges of solid-state physics. It is accepted that understanding the phenomena mentioned above is essential to achieve definitive progress toward designing new 2D functional magnetic devices.

In this summer practice, we will study the magnetic behavior of 2D magnetic materials by testing well-known physical approaches, such as the Bethe-Slater or the Slater-Pauling curve, used mainly to understand the magnetic trend in bulk materials so far. This project aims to map the magnetic behavior of 2D magnetic materials using the model mentioned above and compare it with their bulk counterparts.

You need to know Mathematica or Python, and basic aspects of magnetism courses.

$$H_{ex} = \sum_{i \neq j} J_{ij} S_i \cdot S_j$$

Heisenberg model of ferromagnetism



2D material families Vacancies: 1

DP01: Analizando la reversibilidad en la serie de tiempo del terremoto de Iquique 2014 en Chile

Profesora a cargo: Denisse Pastén

Vacante: 1

Chile es uno de los países con mayor actividad sísmica de la Tierra. Esto se debe a su localización sobre una zona de subducción entre la Placa de Nazca y la Sudamericana. Esto hace que, tanto la actividad volcánica como sísmica sean altas. En los últimos 14 años, Chile ha sido escenario de 3 mega terremotos con magnitudes sobre MW8.0 y han ocurrido una serie de eventos de magnitudes entre MW6.0 y MW7.5. El terremoto ocurrido en las proximidades de la ciudad de Iquique el 1 de abril del año 2014 tuvo una serie de particularidades que lo hacen muy atractivo para su estudio. Tuvo dos precusores de magnitudes sobre MW6.0 15 días antes, y luego tuvo al menos 2 réplicas con magnitudes mayores a MW7.0. De acuerdo a estudios posteriores a su ocurrencia, este sí podría haber sido el mega terremoto que se esperaba en la zona [1-3].

Para entender un poco más sobre este evento, es que se propone estudiar la serie de tiempo medida por la red internacional IPOC [4,5] de los eventos sísmicos ocurrido en la zona entre los años 2007 y 2015. Para este análisis se utilizarán herramientas de sistemas complejos, en particular, se utilizará el método de grafos de visibilidad

horizontales (HVG por sus siglas en inglés) [6,7]. En esta práctica de verano se estudiarán las distribuciones de probabilidad de la red compleja construida en base a los datos sísmicos. Esta forma de mirar el problema de la sismicidad ha sido ampliamente utilizada en los últimos años y ha mostrado dar luces sobre la reversibilidad de las series de tiempo de sismicidad. Esperamos que nos ayude a entender un poco más sobre la preparación de esta zona de subducción antes de que ocurra un gran evento sísmico.

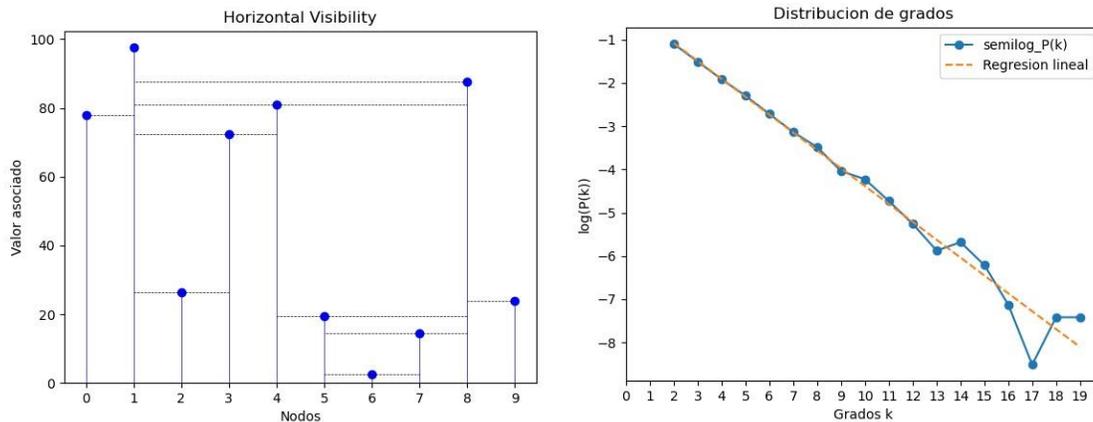


Fig.1: A la izquierda hay una representación gráfica del método HVG. A la derecha se muestra la distribución de probabilidad para el grado de los nodos de una red construida con el método HVG.

[1] S. León-Ríos, S. Ruiz, A. Maksymowicz, F. Leyton, A. Fuenzalida, and R. Madariaga. Diversity of the 2014 Iquique's foreshocks and aftershocks: clues about the complex rupture process of a mw8.1 earthquake. *Journal of Seismology*, 20:1059 – 1073, 2016.

[2] S. Ruiz, M. Métois, A. Fuenzalida, J. Ruiz, F. Leyton, R. Grandin, C. Vigny, R. Madariaga, and J. Campos. Intense foreshocks and a slow slip event preceded the 2014 Iquique MW 8.1 earthquake. *Science*, 345:1165603– 1169, 2014.

[3] Jorge Jara, Anne Socquet, David Marsan, and Michel Bouchon. Long-term interactions between intermediate depth and shallow seismicity in north Chile subduction zone. *Geophysical Research Letters*, 44(18):9283–9292, 2017. doi: <https://doi.org/10.1002/2017GL075029>

[4] IPOC. doi.org/10.1002/2017jb015384, 2020. URL <https://www.ipoc-network.org/welcome-toipoc/>.

[5] Sippl, Christian; Schurr, Bernd; Asch, Günter; Kummerow, Jörn (2018): Catalogue of Earthquake Hypocenters for Northern Chile Compiled from IPOC (plus auxiliary) seismic stations). GFZ Data Services. <http://doi.org/10.5880/GFZ.4.1.2018.00>

[6] L. Telesca and M. Lovallo. Analysis of seismic sequences by using the method of visibility graph. *EPL*, 97:50002, 2012

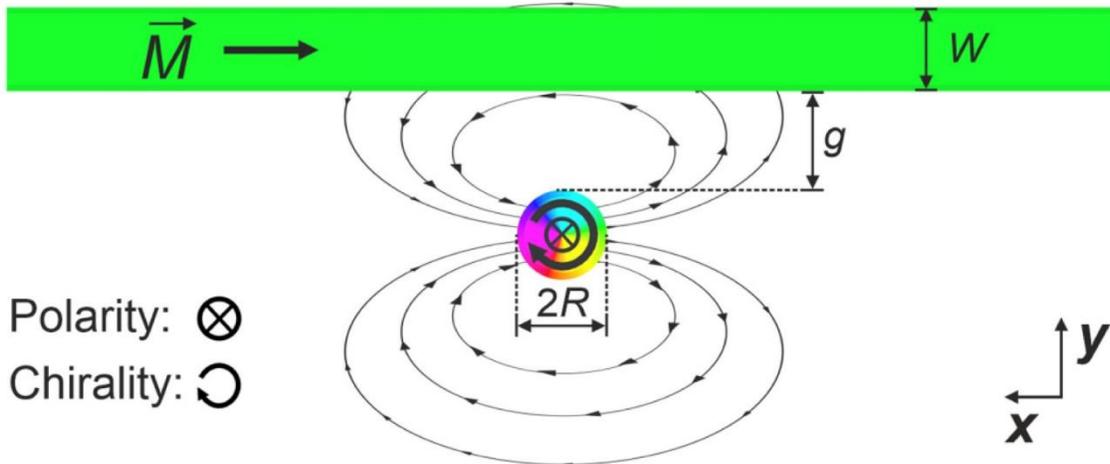
[7] Luque B., Lacasa L., Ballesteros F, and Luque J. Horizontal visibility graphs: Exact results for random time series. *Phis. Rev. E* 80, (2009).

RA01: Acoplamiento entre dispositivos ferromagnéticos

Profesor encargado: Rodrigo Arias

En el área de Magnonics (asociada a aplicaciones de ondas de spin), y en otras áreas también, existe interés en el acoplamiento de diferentes dispositivos ferromagnéticos a nivel nanométrico, para poder diseñar aplicaciones de interés. Interesa por ejemplo transferir energía de un dispositivo a otro en forma eficiente y controlada (“transducers”), sincronizar a ciertas frecuencias dispositivos, ... Un ejemplo de este tipo de acoplamientos es el

“Spin wave directional coupler” de la Ref. [1] entre guías de onda de ondas de spin, otro el “Hybrid Magnonic-oscillator system” [2], entre una guía de ondas de spin y un nano-oscilador de spins.



La idea de este proyecto sería utilizar un modelo simple para estudiar un acoplamiento entre dispositivos como el de la Ref. [2], utilizando modelos simples desarrollados por este autor y colaboradores (como por ejemplo utilizados en las Refs. [3,4]). Estos modelos simples permiten estudiar la dinámica de la magnetización en nano-alambres y nano-discos ferromagnéticos. Se exploraría entonces el acoplamiento via campos dipolares de estos dispositivos, su sincronización, incluyendo efectos no-lineales si es posible.

[1] Q. Wang, P. Pirro, R. Verba, A. Slavin, B. Hillebrands, A. Chumak, Reconfigurable nanoscale spin-wave directional coupler, *Sci. Adv.* 2018, 4 e1701517.
 [2] A. Hamadeh, D. Breitbach, M. Ender, A. Koujok, M. Mohseni, F. Kohl, J. Maskill, M. Bechberger, P. Pirro, Hybrid magnonic-oscillator system, *J. Appl. Phys.* 132, 183904 (2022).
 [3] D. Mancilla, A. León, R.E. Arias, S. Allende, D. Altbir, *Phys. Rev. E* 99, 032210 (2019).
 [4] Liu Yang, Alejandro A. Jara, Zheng Duan, Andrew Smith, Brian Youngblood, Rodrigo E. Arias, Ilya N. Krivorotov, Parametric resonance of spin waves in ferromagnetic nanowires tuned by spin Hall torque, *Phys. Rev. B* 106 144410 (2022).

NZ01: La teoría de información y su conexión con la dinámica del horizonte de evento de un agujero negro y la definición de su temperature y entropía asociada

Profesor: Nelson Zamorano

REQUISITOS SUGERIDOS (en orden de relevancia)

- 1.- Relatividad General I,
- 2.- Mecánica Cuántica I, (o Física Moderna cursado)

1.- TEMA DEL PROYECTO Y OBJETIVO FINAL

La solución exacta que estudiaremos corresponde a un Agujero Negro (AN) con simetría esférica (solución de Schwarzschild). Con ella definiremos el área del horizonte de eventos, sus propiedades y, por analogía con la primera ley de Termodinámica, se introduce la Energía, Temperatura y Entropía.

2.- HORIZONTE DE EVENTO y 3.- TEMPERATURA DE UN AGUJERO NEGRO,

Como debemos estudiar el comportamiento del Horizonte de Eventos, se requiere tener un cierto dominio de la superficies tipo luz y su dinámica.

Estas materias están en cualquier libro de Relatividad General, por ejemplo en el de R. Wald, James B. Hartle y en particular para la dinámica de estas hipersuperficies nulas el más indicado son las clases de P. K. Townsend P. K. Townsend: "Black Holes", arXiv:gr-qc/9707012v1, 4 Jul 1997.

Estas notas están dedicadas prácticamente al estudio del horizonte de evento y sus propiedades haciendo uso de notación tensorial y geometría.

4.- TEORÍA DE INFORMACIÓN,

Este es el tema central de esta investigación. Es relativamente reciente y existen suficientes revisiones del tema como para elegir de acuerdo a la preferencia personal.

Aquí aparece la termodinámica, los $|\text{bra}\rangle$ y los $\langle\text{ket}|$ de mecánica cuántica, el principio de superposición, la entropía,... Todo usado en ejemplos simples. En este sentido el AN es como la partícula elemental de esta teoría.

Proponemos 3 referencias, pero como se señaló, hay otras que pueden ser las preferidas de otros alumnos:

1.- "The Information paradox: A Pedagogical Introduction", Samir D. Mathur, arXiv:0909.1938v2 [hep-th], 25 Jan. 2011.

2.- Se propone sólo como lectura, la segunda parte de este trabajo, que relata las situaciones extrañas a la que conduce la teoría de información: Samir D. Mathur, "Black Hole and Beyond", arXiv:1205.0776v2 [hep-th], 14 May, 2012.

3.- Otra revisión del tema, más orientada a las matemáticas, pero creo que a un nivel pedagógico es la revisión de A. Galindo y M. A. Martín Delgado: "Information and computation: Classical and quantum aspects", Reviews of Modern Physics, Volume 74, April 2002

4.- Como en todos los estudios acerca de Información, aparece en algún momento del desarrollo la palabra Holografía, incluyo acá una introducción pedagógica (de acuerdo a las palabras del autor en el Abstract) a dicho tema: Gerard 't Hooft, "The Holographic Principle", arXiv:hep-th/0003004 v2 16 May 2000.

7.- CONCLUSIONES: El objetivo de esta introducción es que el alumno conozca uno de los temas de investigación activos en el área de gravitación teórica y que logre tener una idea general del origen de las dificultades que presenta y de las posibilidades que se abren si se logra resolver algunas de ellas.

NZ02: Estudio de la trayectoria de una partícula de prueba en Relatividad General

Profesor Guía: Nelson Zamorano

En la dinámica de dos cuerpos, interactuando a través de su campo gravitatorio, con uno de ellos mucho más masivo que el otro, la convención instalada, desde los inicios de la Relatividad General (RG), estableció que las partículas de prueba (aquellas que generan un campo gravitacional muy débil que no se considera en esta aproximación), se desplazan a lo largo de las geodésicas de la geometría establecida solamente por el agente masivo mayor.

El problema de dos cuerpos en RG no se puede resolver en forma analítica en general. Se debe recurrir a un estudio numérico.

En este trabajo se propone incluir la reacción de radiación gravitacional en la dinámica de la partícula y estudiar cómo este nuevo esquema para la ecuación de movimiento modifica su trayectoria

Otra posibilidad que se propone dentro de este mismo esquema, pero como un problema diferente, es analizar una vieja paradoja que involucra al Principio de Equivalencia y a la radiación de una carga puntual.

Considere que esta carga puntual y un observador caen libremente dentro de un ascensor en un campo gravitacional constante. La carga cae junto al observador en reposo relativo entre ellos debido al Principio de equivalencia. La pregunta es:

-- Radía o no esta partícula cargada, con respecto al observador que la acompaña?

-- De acuerdo a un observador externo, esta carga está acelerada y debe radiar en su caída. ¿Radía o no la carga?

Junto con el aumento de la resolución de las observaciones, utilizando telescopios ubicados en diferentes lugares de nuestro planeta, como un sólo telescopio sincronizado, se ha logrado una resolución que permite distinguir el disco de acreción que rodea un agujero negro ubicados a gran distancia. Para sacar mayor información de esta figura se requiere una comprender mejor la dinámica de las partículas que orbitan el agujero negro.

Este es el tema de investigación propuesto: analizar el movimiento de una partícula con una masa muy pequeña, pero considerando ahora su campo gravitacional, que aunque mucho más débil que el de la fuente, permite una explicación más completa de lo que se observa y un análisis crítico del modelo actual de los discos de acreción.

Las dificultades al considerar una partícula puntual en RG están bien resumidas en el paper de R. Wald, "Introduction to Gravitational Self-Force", arXiv:0907.0412v1 [gr-qc], 2 de Julio 2009.

Este sería el primer trabajo para estudiar en este proyecto.

Otros dos trabajos más largos y de revisión del tema que se pueden consultar son:

-- ERIC POISSON, arXiv:gr-qc/0306052v1, "**The Motion of Point Particles In Curved Spacetime**".

-- LEOR BARACK and ADAM POUND: "**Self-Force and radiation reaction in General Relativity**"

Dentro de este mismo esquema podemos analizar un viejo problema que mezcla el Principio de Equivalencia con la radiación de un partícula cargada.

Brevemente el problema es el siguiente:

Considere una caja cerrada que acelera, debido a la fuerza de gravitación externa constante. Por ejemplo una caja sobre la superficie de la Tierra

Dentro de la caja viaja un observador y una carga puntual. Ambos caen con la misma aceleración y en reposo relativo c/r a la caja, por el Principio de Equivalencia.

La paradoja que se pide resolver es la siguiente: De acuerdo a un observador externo en reposo, la carga está acelerando, por tanto emite radiación electromagnética medible. Pero para el observador dentro de la caja, la carga está en reposo, luego NO radía !!

Este problema se aborda (entre muchos otros) en el paper: "Radiation from a Uniformly Accelerated Charge" por David Boulware, Annals Of Physics{ 124}, 169-188(1980)

EB01: Fabricación y caracterización de láminas delgadas magnéticas de cobalto fabricadas mediante deposición de vapor física (PVD).

El uso de técnicas de alto vacío (10^{-3} a 10^{-6} mbar) y ultra alto vacío (10^{-6} a 10^{-9} mbar) es esencial para fabricación de láminas delgadas de materiales metálicos y óxidos, los cuales son la piedra angular de los estudios de la física del estado sólido, en especial el magnetismo, electrónica y espintrónica [1]. Entender el proceso de deposición de estas láminas, desde el funcionamiento de las bombas y medidores de presiones, hasta la caracterización magnética y eléctrica de estas, es esencial para la formación de físicos y físicas que se dedican a estudiar física del estado sólido en sistema reales con miras a la aplicación tecnológica.

En esta práctica de verano el estudiante participará en la reparación de un sistema de alto vacío Edwards, ubicada en la Facultad de Ciencias, ideal para depositar láminas delgadas mediante deposición de vapor física (Figura 1). EL estudiante depositará láminas delgadas de cobalto de distinto espesor, con el fin de caracterizar las propiedades eléctricas, magnéticas y topográficas de estas. Compararemos estas láminas a láminas depositadas por sistemas de ultra alto vacío, con el fin de comparar la factibilidad de usar estas láminas en sistemas de espintrónica molecular [2].

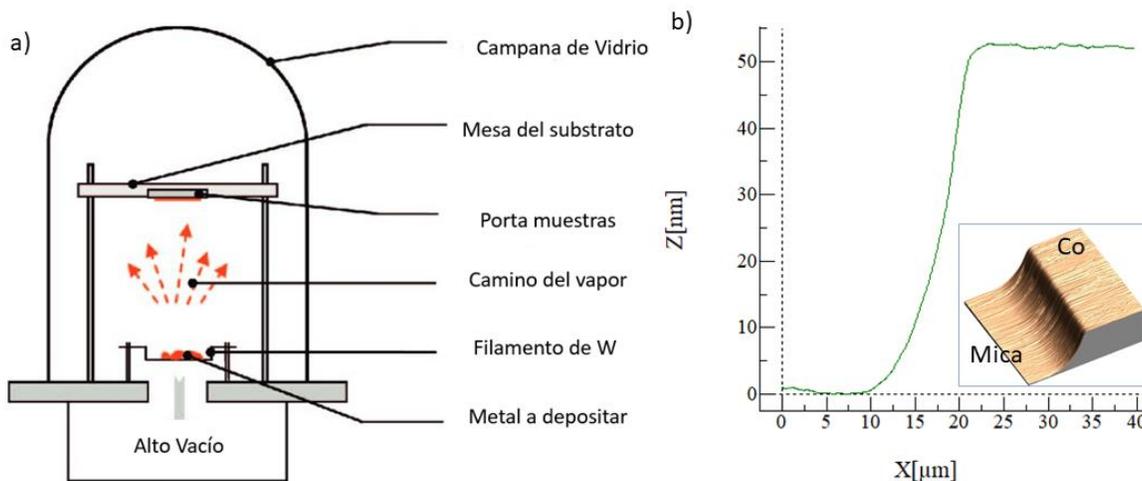


Figura 1: a) Esquema del método de deposición de vapor física en alto vacío. b) Caracterización topográfica mediante Microscopía de fuerza atómica (recuadro interior) de una lámina de cobalto depositada en ultra alto vacío, con una altura de 52 nm.

[1] E Y Vedmedenko et al 2020 J. Phys. D: Appl. Phys. 53 453001

[2] Xiangnan Sun et al. ,A molecular spin-photovoltaic device.Science 357,677- 680 (2017)

Profesor a cargo: Erick Burgos Parra, Facultad de Ciencias

Profesor colaborador: Marcos Flores, Facultade de Ciencias Física y Matemáticas

Vacantes: 1

MF01: Formación de películas delgadas de óxidos metálicos nanoestructurados

Profesor Guía: Marcos Flores

Lugar: Laboratorio de Superficies y Nanomateriales

Cupo: 1 - 2 estudiantes.

Las películas son de gran interés en distintas aplicaciones para una variedad de dispositivos. En particular las películas de óxidos metálicos son relevantes en aplicaciones ópticas, electrónicas y optoelectrónicas, entre otras. Un caso especial son las películas de óxidos metálicos de metales de transición (TMOx) los cuales han sido

propuestos como buenos candidatos para aplicaciones de almacenamiento de energía como lo son las baterías de ion litio (LIBs) [1] o computación neuromórfica basada en conmutación resistiva (R-Switch) [2]. En ambos casos es altamente relevante tener un control fino de modo de crecimiento para la obtención de películas nanoestructuradas, para aplicaciones en LIBs, o con una baja rugosidad (atómicamente planas), para aplicaciones en R-Switch.

En esta propuesta experimental se estudiará la formación de películas delgadas de óxido de vanadio sobre sustratos aisladores, como el mostrado en la Fig. 1. Las muestras serán evaporadas por método físico en condiciones de alto vacío. Se quieren establecer los parámetros para la formación de las películas nanoestructuradas. Los parámetros a estudiar serán la tasa de evaporación, temperatura de sustrato y tratamiento térmico (*postannealing*) para distintos espesores. Se estudiará la topografía de los depósitos mediante microscopía de fuerza atómica (AFM) para la identificación de las estructuras formadas y mediante espectroscopía de electrones fotoemitidos por rayos X (XPS) para la determinación de la composición química y estado de oxidación de estas, y la determinación de la estructura electrónica de la banda de valencia mediante UPS.

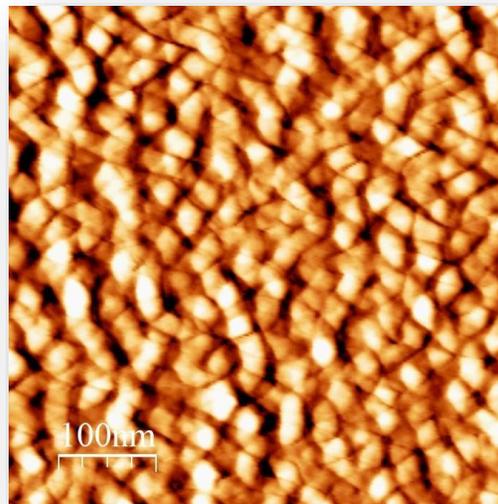


Fig. 1 : Imagen topográfica de un depósito de pentóxido de vanadio.

Referencias:

- [1] F. Dietrich et al, doi.org/10.1021/acs.jpcc.1c01774 [2] M.-H. Lee et al, doi.org/10.1021/acsami.0c18327.

Esta propuesta experimental tiene como objetivo la fabricación de películas delgadas de LNMO sobre superficies de metales de electrodo estándar, a través del método de deposición química en fase de vapor asistido con aerosol (AACVD) con distintos flujos de gas reactivo y gas precursor. Se estudiará la influencia de estos flujos en la formación de este material, así como otras condiciones óptimas para la obtención de la fase cristalina tipo espinela.

La topografía del material resultante será estudiada mediante Microscopía de Fuerza Atómica (AFM) y Microscopía Electrónica de Barrido con Emisión de Campo (FESEM) (Figura 1), su morfología por Difracción de Rayos X (XRD), su composición por Espectroscopía de Fotoelectrones emitidos por rayos X (XPS) y Espectroscopía de Energía Dispersiva (EDS), y su estructura electrónica por espectroscopía de Fotoelectrones emitidos por rayos UV (UPS).

Esta propuesta experimental tiene como objetivo la fabricación de películas delgadas de LNMO sobre superficies de metales de electrodo estándar, a través del método de deposición química en fase de vapor asistido con aerosol (AACVD) con distintos flujos de gas reactivo y gas precursor. Se estudiará la influencia de estos flujos en la formación de este material, así como otras condiciones óptimas para la obtención de la fase cristalina tipo espinela.

La topografía del material resultante será estudiada mediante Microscopía de Fuerza Atómica (AFM) y Microscopía Electrónica de Barrido con Emisión de Campo (FESEM) (Figura 1), su morfología por

Difracción de Rayos X (XRD), su composición por Espectroscopía de Fotoelectrones emitidos por rayos X (XPS) y Espectroscopía de Energía Dispersiva (EDS), y su estructura electrónica por espectroscopía de Fotoelectrones emitidos por rayos UV (UPS).

MF02: Fabricación y caracterización de películas delgadas de óxidos metálicos para baterías de ion-litio

Profesores guías: Francisca Luco Castro (tesista de Doctorado) y Marcos Flores Carrasco.

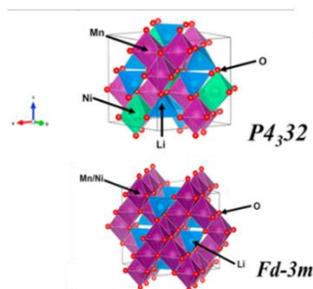
Lugar: Laboratorio de Superficies y Nanomateriales, DFI.

Cupo: 1 estudiante.

Los óxidos de metales de transición con diferentes estructuras cristalinas se aplican comúnmente como materiales activos en cátodos en baterías de ion-litio, debido a que los iones de litio se desintercalan e intercalan durante el proceso de carga y descarga de la batería. Uno de esos materiales es el óxido de níquel manganeso litio (LNMO), el cual se investiga intensamente debido a su alto voltaje de trabajo, además de su de bajo costo y baja toxicidad. Dependiendo de las condiciones de la síntesis de LNMO se pueden originar diferentes tipos de este material, dependiendo de la cantidad de níquel contenida en su estructura. Se ha reportado que mientras mayor sea el contenido de níquel en LNMO, éste será más estable y suprime en gran medida la disolución de manganeso durante el ciclado, además de mejorar la capacidad de velocidad y el rendimiento del ciclo [1].

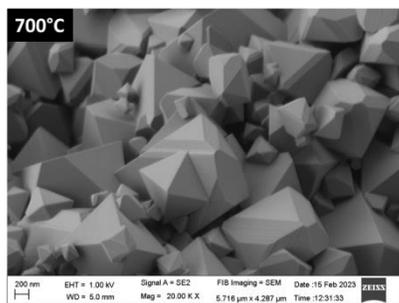
Específicamente, la estructura tipo de espinela de LNMO se considera como uno de los candidatos más promisorios como materiales catódicos de 5 V porque tiene vías rápidas de difusión tridimensional de iones de litio, posee alta densidad de derivación ($>1.8 \text{ g/cm}^3$), alto potencial de funcionamiento ($\sim 4.7 \text{ V}$ frente a Li/Li^+), alta densidad de energía (valor teórico de $\sim 650 \text{ mWh/g}$) y alta seguridad de operación [2].

a)



Esta propuesta experimental tiene como objetivo la fabricación de películas delgadas de LNMO sobre superficies de metales de electrodo estándar, a través del método de deposición química en fase de vapor asistido con aerosol (AACVD) con distintos flujos de gas reactivo y gas precursor. Se estudiará la influencia de estos flujos en la formación de este material, así como otras condiciones óptimas para la obtención de la fase cristalina tipo espinela.

b)



La topografía del material resultante será estudiada mediante Microscopía de Fuerza Atómica (AFM) y Microscopía Electrónica de Barrido con Emisión de Campo (FESEM) (Figura 1), su morfología por Difracción de Rayos X (XRD), su composición por Espectroscopía de Fotoelectrones emitidos por rayos X (XPS) y Espectroscopía de Energía Dispersiva (EDS), y su estructura electrónica por espectroscopía de Fotoelectrones emitidos por rayos UV (UPS).

Figura 1. a) Estructuras cristalinas de LNMO. b) Imagen FESEM de película de

Referencias:

- [1] H. Zhou et al., RSC Adv., 2015. doi: 10.1039/C5RA21884E
[2] W. Liang et al., J. Mater., 2021. doi: 10.1016/j.jmat.2021.02.003

MF03: Caracterización electroquímica de películas delgadas de óxidos metálicos funcionalizadas con moléculas autoensambladas para baterías de ion-litio

Profesores guías: Francisca Luco Castro (tesista de Doctorado) y Marcos Flores Carrasco.

Lugar: Laboratorio de Superficies y Nanomateriales, DFI.

Cupo: 1 estudiante.

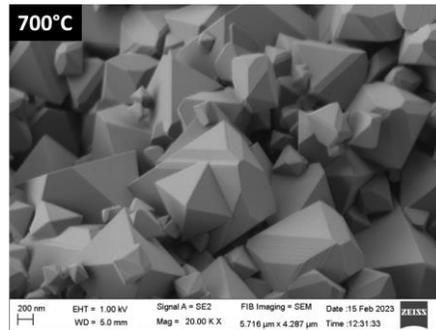
Los óxidos de metales de transición con diferentes estructuras cristalinas son utilizados como materiales catódicos en baterías de ion-litio, debido a que los iones de litio se desintercalan e intercalan durante el proceso de carga y descarga de la batería. Uno de estos materiales es el óxido de níquel manganeso litio (LNMO), el cual es investigado intensamente debido a su alto voltaje de trabajo, además de su de bajo costo y baja toxicidad.

Específicamente, la estructura tipo de espinela de LNMO se considera como uno de los candidatos más promisorios como materiales catódicos de 5 V porque tiene vías rápidas de difusión tridimensional de iones de litio, posee alta densidad de derivación (>1.8 g/cm), alto potencial de funcionamiento (~ 4.7 V frente a Li/Li⁺), alta densidad de energía (valor teórico de ~ 650 mWh/g) y alta seguridad de operación [2]. Sin embargo, el funcionamiento como batería de este material es afectado seriamente por la acción del electrolito líquido presentando problemas debido a la reacción entre ambos formando una interfase cátodo-electrolito (CEI) que provoca cortocircuitos en la batería y una temperatura de operación muy alta si ésta crece descontroladamente. La funcionalización de este material catódico mediante moléculas orgánicas autoensambladas ha sido explorada obteniendo resultados prometedores para todo el sistema, logrando una ciclabilidad estable como batería [3] debido a que estabiliza la formación de esta interfase. Esta propuesta experimental tiene como objetivo la funcionalización de películas delgadas de LNMO sobre superficies de metales de electrodo estándar fabricadas en el laboratorio, con dos moléculas por separado: ácido 4-mercaptobenzoico y ácido 4-(phenylazo)benzoico, y estudiar su comportamiento electroquímico operando como batería de ion-litio.

La posición de las moléculas sobre la superficie será estudiada por Espectroscopía de Fotoelectrones emitidos por rayos X (XPS), Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) y Espectroscopía Raman.

Finalmente, se estudiarán sus propiedades electroquímicas mediante Voltametría Cíclica, Ciclabilidad, C-rate e impedancia electroquímica operando como celda de prueba tipo Swagelok.

a)



b)

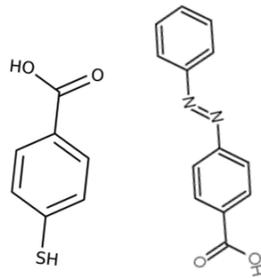


Figura 1. a) Imagen FESEM de película de LNMO fabricada en el Laboratorio de Superficies y Nanomateriales. b) Moléculas de 4-mercaptobenzoico y ácido 4-(phenylazo)benzoico

Referencias:

- [1] H. Zhou et al., RSC Adv., 2015. doi:10.1039/C5RA21884E
- [2] W. Liang et al., J. Mater., 2021. doi: 10.1016/j.jmat.2021.02.003
- [3] Zettsu et al., Sci. Rep., 2016. doi: 10.1038/srep31999