

Lista de Propuestas FI4105 Introducción a la investigación experimental y teórica

Prof. Nicolás Mujica.

Versión 2010

9 de agosto de 2010

1. Hugo Arellano

1.1. Propiedades de saturación de la materia nuclear

Cupos = 1 estudiante

El núcleo atómico está conformado por protones y neutrones, confinados en una región espacial del orden de unos pocos femtómetros. Es bastante denso. Un modelo ampliamente utilizado para su caracterización es el modelo de materia nuclear infinito simétrico, en el cual la densidad de protones y neutrones es la misma. Una de las propiedades de mucho interés en estudiar es su punto de saturación, del cual aún a la fecha no tiene explicación satisfactoria. Curiosamente todas las predicciones teóricas caen consistentemente en la denominada 'banda de Coester'. Se plantea para este tema recopilar los puntos de saturación dados por distintos grupos de investigación en el mundo, dar su ubicación en la banda de Coester e identificar las consideraciones teóricas para su obtención.

(1) Z. H. Li et. al, Phys. Rev. C 74, 047304 (2006).

(2) M. Baldo (Ed.), *Nuclear Methods and the Nuclear Equation of State*, International Review of Nuclear Physics, Vol. 8 (World Scientific, Singapur, 1999).

2. Víctor Fuenzalida

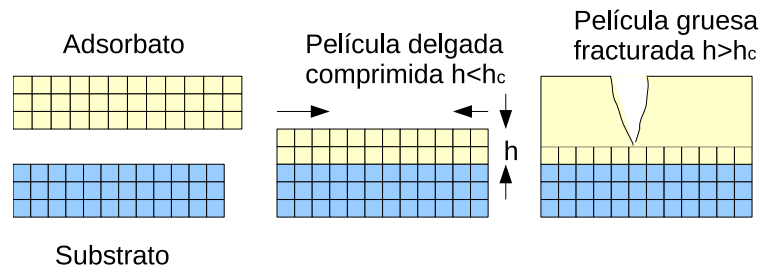
2.1. Cálculo del espesor crítico en películas delgadas epitaxiales rotadas

Cupos = 1 estudiante

En 1949 Frank y van der Merwe calcularon el espesor crítico de una película delgada crecida epitaxialmente (o congruentemente) sobre un sustrato con desajuste, es decir, las constantes de

red del sustrato y la película son diferentes (1). Considerando el sustrato rígido y la película elástica, al aumentar el espesor aumenta la energía elástica, de modo que a partir de un cierto espesor crítico es energéticamente más favorable generar dislocaciones cesando el crecimiento epitaxial. Ha habido muchos trabajos proponiendo formas de calcular la energía asociada a las dislocaciones, tema aun no resuelto (2). Sin embargo, no se ha estudiado el caso en que el sustrato y la película, además de diferentes constantes de red, puedan estar rotados.

Se propone desarrollar un modelo simple (resortes) para estudiar este caso. El trabajo requiere algún conocimiento de teoría de la elasticidad.



- (1) F. C. Frank y J. H. van der Merwe, *One-dimensional dislocations I Static Theory*, Proc. Roy. Soc. **A198**, 205 (1949)
- (2) J. H. van der Merwe, *Misfit Dislocations in Epitaxy*, Metallurgical and Materials Transactions A **33A**, 2745 (2002)

3. Fernando Lund y Humberto Palza

3.1. Transición Dinámica de la Percolación en Materiales Compósitos basados en Polímeros con Nanotubos de Carbono

Cupos = 1 estudiante

Pequeñas concentraciones de nanotubos de Carbono (CNTs) dispersas en un plástico alteran significativamente las propiedades -eléctricas, térmicas y mecánicas- del material. En el estado fundido se trata de sistemas en condiciones fuera del equilibrio que presentan distintas morfologías dependiendo de las condiciones de flujo y procesamiento lo que modifica sus principales propiedades. ¿Es posible controlar tales condiciones para lograr propiedades determinadas a priori?

Se ha medido la conductividad eléctrica de diferentes compósitos de polietileno (PE)-CNT en el fundido bajo diferentes condiciones de cizalle en régimen oscilatorio, usando una geometría de placas paralelas. Estas medidas han mostrado que las condiciones de cizalle modifican fuertemente la dinámica de CNTs en estas matrices poliméricas. El proyecto que se propone involucra racionalizar los datos, primero con un modelo fenomenológico (1) y luego con un modelo más elaborado basado en la teoría de la percolación (2)

- (1) I. Alig et al., *Destruction and formation of a conductive carbon nanotube network in polymer melts: In-line experiments*, Polymer **49**, 3524-3532 (2008)
- (2) J. Obrzut et al., *Shear-induced conductor-insulator transition in melt-mixed polypropylene-carbon nanotube dispersions*, Phys. Rev. B **76**, 195420 (2007).
- (3) F. Du et al., *Effect of nanotube alignment on percolation conductivity in carbon nanotube/polymer composites*, Phys Rev B **72**, 11404(R) (2005).

4. Claudio Falcón

4.1. Inestabilidades secundarias de patrones en camas fluidizadas granulares cuasi-unidimensionales

Cupos = 1 estudiante

Un medio granular está compuesto por un gran numero de componentes n ($1 \ll n \ll N$, N el numero de Avogadro) que son suficientemente grandes como para que los efectos térmicos sean despreciables en su dinámica (por ejemplo, que $mgd \gg k_B T$, donde m es la masa de uno de los componentes, g la gravedad, d la distancia típica de los componentes, k_B la constante de Boltzmann y T la temperatura ambiente) que disipan energía al interactuar entre ellos (por choques inelásticos, por ejemplo). Por ello, se debe inyectar energía constantemente para poder crear comportamientos dinámicos complejos e interesantes, como por ejemplo avalanchas, segregación y la formación de patrones. En este proyecto de investigación se plantea estudiar la estabilidad de patrones subharmónicos en una cama granular fluidizada por un flujo periódico de aire [1] al perturbarlos de dos maneras diferentes creando inestabilidades secundarias: inclinando la celda (inestabilidad de *drift*) o aumentando la presión del flujo (inestabilidad transcítica).

- (1) Ignacio Ortega, Marcel G. Clerc, Claudio Falcón and Nicolás Mujica, *Subharmonic wave transition in a quasi-one-dimensional noisy fluidized bed*, Physical Review E **81**, 046208 (2010)

4.2. Localización de ondas en un canal unidimensional

Cupos = 1 estudiante

Anderson [1] propuso en 1958 la posibilidad de localizar una onda plana en un potencial aleatorio, lo que significa en términos prácticos la ausencia de difusión de una onda en un medio aleatorio. Esta idea simple y profunda, permite explicar por ejemplo la transición de conductor a aislador para electrones en semiconductores al aumentar el desorden o las impurezas dentro del medio. En esta práctica, se propone estudiar la localización de ondas superficiales de gravedad en

un canal unidimensional cuyo fondo es periódico o desordenado [2]. Para ello, se medirá localmente la amplitud de las ondas de superficie con un captor capacitivo en dos puntos, para medir la amplitud de la onda localizada y la fase de la misma.

- (1) Anderson, P. W., *Absence of Diffusion in Certain Random Lattices*. Phys. Rev. 109: 1492-1505 (1958)
- (2) Belzons M., Guazzelli E. and Parodi O., *Gravity waves on a rough bottom: Experimental evidence of one dimensional localization*, J. Fluid Mech. 186, 539-558 (1988).

4.3. Fluctuaciones de densidad y potencia inyectada en emulsiones

Cupos = 1 estudiante

Para mantener un sistema disipativo fuera del equilibrio es necesario entregar potencia al sistema. Aún más, para mantenerlo en un estado estacionario es necesario entregar potencia de manera continua, que será disipada por el mismo sistema. En este estado, el sistema puede presentar grandes fluctuaciones en sus propiedades microscópicas (densidad) o macroscópicas (energía total) [1,2]. En esta práctica se propone estudiar tanto las fluctuaciones de la potencia inyectada (macroscópica) como las fluctuaciones de densidad (microscópica) en un sistema cerrado formado por dos fluidos inmiscibles de densidad y viscosidad controlada (agua destilada y aceite de silicona) que generan una emulsión por medio de medidas de fuerza y velocidad del excitador de la emulsión, junto con el tratamiento de imágenes de la densidad de burbujas de agua en aceite.

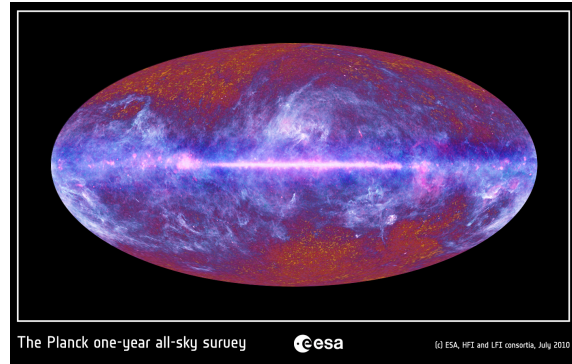
- (1) Misuzu Sato and Ikuro Sumita, *Experiments on gravitational phase separation of binary immiscible fluids*, J. Fluid Mech., vol. 591, pp. 289-319 (2007).
- (2) Claudio Falcón and Eric Falcon, *Fluctuations of energy flux in a simple dissipative out-of-equilibrium system*, Physical Review E 79, 041110 (2009).
- (3) Eric Falcon, Sébastien Aumaître, Claudio Falcón, Claude Laroche and Stéphan Fauve, *Fluctuations of energy flux in wave turbulence*, Physical Review Letters 100, 064503 (2008)

5. Gonzalo Palma

5.1. La física del fondo de radiación cósmica

Cupos = 1 estudiante

El fondo de radiación cósmica consiste en un gas de fotones (partículas de luz) residuales de muy baja energía que baña a todo el universo. Este fondo es evidencia de que el universo actual fue extremadamente caliente y pequeño en el pasado (la llamada teoría del Big-Bang). En este proyecto se propone entender los aspectos básicos detrás del origen del fondo de radiación cósmica.



El alumno o la alumna que se embarque en este proyecto tendrá que aprender aspectos básicos de física de partículas y teoría de perturbación en Relatividad General. Se desarrollará la capacidad de leer y discutir artículos actuales sobre el tema. Así mismo, el alumno o alumna deberá realizar estimaciones originales de cómo ciertas teorías -recientemente propuestas- podrían modificar las actuales observaciones del fondo de radiación.

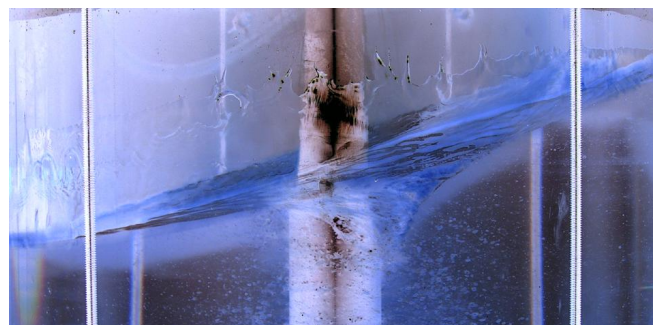
- (1) A. Challinor, H. Peiris, "Lecture notes on the physics of cosmic microwave background anisotropies", AIP Conf. Proc. 1132, 86 (2009).
- (2) R. Durrer, "The Cosmic Microwave Background", Cambridge University Press (2008).

6. Nicolás Mujica

6.1. Bifurcación de una onda de gravedad en un flujo turbulento de Taylor-Couette

Cupos = 1 o 2 estudiantes

Este trabajo es un estudio sobre una transición de onda de gravedad que ocurre en un flujo de Taylor-Couette en régimen turbulento. Hay pocos ejemplos de inestabilidades hidrodinámicas de modos coherentes gran escala en flujos turbulentos. Esta inestabilidad fue descubierta recientemente y aun hay muchas preguntas abiertas. En particular, no se conoce el mecanismo de la inestabilidad ni se tiene claridad respecto del rol de la turbulencia en ella.



Se ha determinado que el número de Froude, que compara inercia con gravedad, es el parámetro que mejor describe la bifurcación. Por otro lado, se obtiene la dependencia de las frecuencias propias de algunos modos propios con la velocidad de rotación. En esa dependencia es posible observar que la zona en que se desarrolla la inestabilidad coincide con el encuentro de las frecuencias de dos modos propios de superficie.

Recientemente se han realizado varias modificaciones al montaje que permiten reducir el efecto el ruido mecánico sobre la inestabilidad. Se ha implementado además una medida capacitiva acoplada a un circuito RLC lo que permite tener medidas más precisas de las fluctuaciones de ondas de superficie. El alumno o alumna que trabaje en este tema deberá implementar un último cambio mecánico para posteriormente realizar una serie de medidas que permitan confirmar los hallazgos previos y obtener además una buena estadística de los puntos críticos de transición en función de la altura del agua.

- (1) Nicolás Mujica & Daniel P. Lathrop, *Hysteretic Gravity-Wave Bifurcation in a Highly Turbulent Swirling Flow*, Journal of Fluid Mechanics, Vol. 551, 49-62 (2006).
- (2) Cristobal Arratia, *Histéresis y biestabilidad de ondas de gravedad en un flujo turbulento en geometría Taylor-Couette*, Tesis de Magíster en Ciencias mención Física, Universidad de Chile (2007).

7. Jonathan Avila

7.1. Películas y nanopartículas de ZrO

Cupos = 1 estudiante

En colaboración con V. Fuenzalida y J. Lisoni.

El óxido de circonio (circonia) existe generalmente en la forma ZrO_2 , pero también hay una fase metaestable ZrO cuya superficie se oxida espontáneamente a ZrO_2 . Existe poca información sobre las propiedades del ZrO . Se propone estudiar películas delgadas y nanopartículas de este material.

Las películas se obtendrán por evaporación de granalla de ZrO por medio de haz de electrones. Se trata de un cañón de electrones operado en vacío ultraalto, deflectado por un campo magnético. Al incidir sobre el blanco, en este caso la granalla de ZrO , la calienta a alta temperatura evaporándola. El material evaporado se recogerá sobre un sustrato para ser inmediatamente transferido *en vacío*, sin contacto con el aire para evitar su oxidación, a la cámara de análisis. El análisis se realiza por medio de espectroscopia de fotoelectrones inducidos por rayos X (XPS), permitiendo recolectar el espectro característico del material, difícil de encontrar en la literatura.

Las nanopartículas se obtendrán por evaporación resistiva de la misma granalla, es decir, colocándola sobre un bote de tungsteno que se calienta por efecto Joule. En vez de vacío, se requiere llenar la cámara con un gas inerte, generalmente helio, a presiones entre 100 y 1000 Pa. En este caso el camino libre medio es submilimétrico y el material evaporado difunde a través del gas portador, con ocasionales colisiones, dando así lugar a nucleación homogénea de nanopartículas.

El crecimiento de las nanopartículas cesa al ser colectadas sobre un sustrato. A partir de este momento el experimento se continúa de manera similar, transportando la muestra en vacío para realizar las mediciones de XPS.

- (1) D. E. Diaz-Droguett, V. M. Fuenzalida, and G. Solorzano, *Nanostructures of Crystalline Molybdenum Trioxide Grown by Condensation in a Carrier Gas*, J. Nanosci. Nanotechnol. **8**, 5977-5984 (2008).
- (2) Zdenek Bastl, Jiri Franc, Pavel Janda, Hana Pelouchova and Zdenek Samec, *Nickel nanoparticle assembly on single-crystal support: formation, composition and stability*, Nanotechnology **17**, 1492-1500, (2006).

7.2. Sistema purificador de aire para ciclistas

Cupos = 1 estudiante

Los ciclistas se ven expuestos en la ciudad a respirar gran cantidad de material particulado y sustancias tóxicas derivadas de la combustión de los automoviles. Existen algunos sistemas de máscaras disponibles en el mercado los cuales sin embargo tienen corta vida y proporcionan escaso confort al usuario. Una alternativa es usar un filtro de aire con un sistema de bombeo externo. No existen sin embargo en la actualidad sistemas que proporcionen el flujo necesario para la actividad deportiva.

Objetivos

1. Estudiar los sistemas de bombeo de aire disponibles, ya sean electricos o mecánicos, y elegir el adecuado desde el punto de vista rendimiento/costo para implementacion masiva. Seleccionar el sistema de filtrado adecuado.
2. Construir un prototipo.
3. Realizar pruebas de funcionamiento, o sea, mediciones de flujo y de captura de material contaminante en el sistema de filtrado.

Requisitos

- Habilidad para trabajo mecánico.
 - Conocimientos de electrónica.
 - Ingles intermedio (a nivel de lectura y escritura).
- (1) J. de Hartog , H. Boogaard , H. Nijland, G. Hoek, Environ Health Perspect 118:1109-1116. doi:10.1289/ehp.0901747, 2010.

7.3. Construcción de generadores pulsados Marx y sistema de selección de nanopartículas metálicas

Cupos = 1 estudiante

En colaboración con V. Fuenzalida.

Al generar nanopartículas por distintos procesos se produce, en general, una distribución amplia de tamaños y masas. Es deseable en la mayoría de los casos tener muestras con un tamaño uniforme de nanopartículas. Para seleccionar la masa de las nanopartículas se usa sistemas de separación por tiempo de vuelo en ultra alto vacío. Estos sistemas usan fuentes de alto voltaje pulsadas, a saber, 2 generadores Marx.

Objetivos

1. Simular usando un modelo Spice un generador Marx construido con IGBTs.
2. Construir y caracterizar 2 generadores Marx y sistema de gatillado digital.
3. Usar los generadores en un sistema de selección de nanopartículas.

Requisitos

- Conocimientos intermedios de electrónica analógica y digital. Spice.
- Alta habilidad manual.
- Inglés intermedio (a nivel de lectura y escritura).

(1) B. von Issendorf, R. E. Palmer, Rev. Sci. Instrum., 70, No 12, 1999.

8. Miguel Ignat

8.1. Estabilidad Mecánica de capas delgadas (Cu) sobre sustrato (Polímero)

Cupos = 1 estudiante

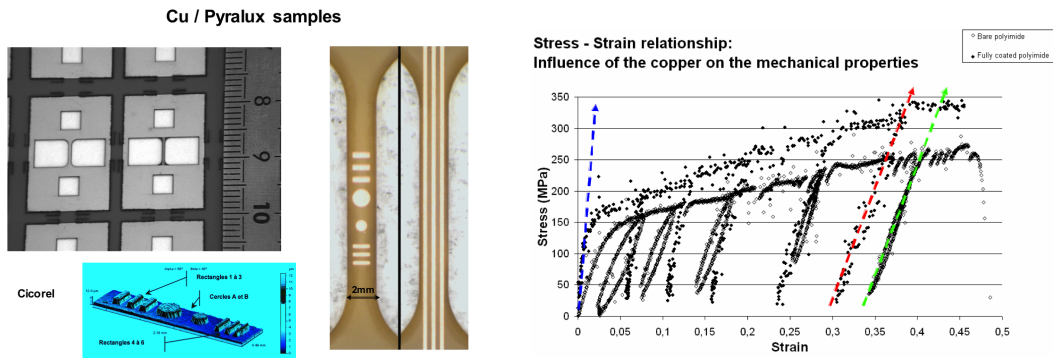
Coguiado por Ricardo Henriquez.

Entre las nuevas tecnologías desarrolladas en microelectrónica, se encuentran aquellas que optan por sustratos en polímeros. Estos sustratos confieren flexibilidad y adaptabilidad a los microcircuitos que se asocian, permitiendo nuevas aplicaciones para estos dispositivos (flexible microelectronics). Sin embargo la fiabilidad/durabilidad de estos sistemas, presenta cierta problemática que esta centrada en la compatibilidad física, química y mecánica entre los materiales que pueden constituir la parte funcional del microcircuito, y el sustrato. Compatibilidades en términos de:

1. Las deformaciones (intrínseca, extrínseca y/o termo elástica);

2. De la reactividad entre los materiales (ínter difusión interfacial),
3. Adherencia (a nivel interfacial también).

Estos problemas se acentúan, a nivel de las singularidades que presentan los microcircuitos: discontinuidades tanto geométricas (*peldaños, esquinas...*), como de materiales (interfaces separando materiales de módulos distintos); potencialmente aptas para activar mecanismos de ruptura (en volumen, como a la interfaz). Se realizaron experiencias de micro tracción in-situ acompañadas de análisis micro estructurales. Se confrontaron los resultados de las experiencias y los parámetros que se deducen con modelos analíticos asociados a la estabilidad de capas finas sobre substratos.



Las figuras que siguen muestran un tipo de probetas que se utilizaran para las experiencias in-situ; y curvas sobrepuestas de ensayos con sollicitación cíclica de probetas de polímero, con y sin película de Cobre.

- (1) M. Ignat., Chapter 3, Surface Engineering Series , American Society of Metals. Vol. 2 : Chemical Vapor Deposition. Edited by Jong-Hee Park . 2001.pp 45-80.
- (2) S.L.Chui,J.Leu and P.S.Ho,J.Appl.Phys.76 (1994)5136
- (3) P.I.Hsu,M.Huang,Z.Xi,S.Wagner,Z.Suo,J.C.Stum, J.Appl.Phys.95 (2004)705

9. Marcos Flores

9.1. Morfología de películas delgadas y su incidencia en el transporte de carga eléctrica

Cupos = 1 estudiante

La miniaturización de los circuitos eléctricos alcanzada en los últimos años, impone la necesidad de comprender el funcionamiento y efecto de los mecanismos microscópicos que dan lugar a la resistencia eléctrica. Dos mecanismos que disminuyen la conductividad eléctrica son las colisiones de los portadores de carga con los fonones y las impurezas (1). Al día de hoy, estos mecanismos se pueden entender teóricamente y controlar bastante bien experimentalmente. Sin embargo, al bajar las dimensiones de las líneas de transporte eléctrico a espesores menores que 100nm, dos nuevos mecanismos compiten con los anteriores en el fenómeno de conducción eléctrica: las colisiones de los portadores de carga con defectos estructurales y con las superficies de la línea (2).

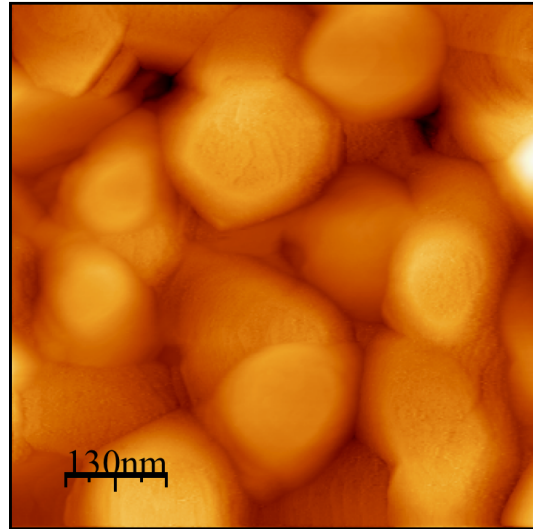


Imagen topográfica obtenida con STM de una película de oro depositada sobre mica

Hoy en día estos mecanismos no son completamente entendidos del punto de vista teórico, y para lograr su control se están desarrollando protocolos experimentales que minimicen el efecto de dichos mecanismos.

En este tópico de investigación se desean fabricar películas de oro de espesores sub-100nm, las cuales serán caracterizadas morfológica y eléctricamente, por metodologías de difracción de rayos X, microscopía de efecto túnel y técnicas criogénicas. Con estos resultados se espera encontrar evidencias que permitan mejorar los modelos de conducción eléctrica existentes y optimizar los protocolos de fabricación de las muestras.

(1) J.M. Ziman, *Electrons and Phonons*, Oxford University Press, 1960.

(2) Munoz et al, *Phys. Rev. Lett.* 96, 206803 (2006).

10. Nelson Zamorano

10.1. Agujeros Negros Artificiales

Cupos = 1 estudiante

Coguiado por Felipe Asenjo.

En el contexto de relatividad general la aparición de un agujero negro surge en forma natural si una estrella en su etapa final de evolución aún conserva un carozo con una masa mayor de aproximadamente 3 masas solares.

Una de las características más estudiadas de este objeto es la superficie matemática que aísla del mundo externo la singularidad que se forma en su interior. Se denomina horizonte de eventos, es una superficie tipo luz que actúa como una membrana de una sola vía: sólo deja caer objetos al interior pero impide la salida de cualquier información del interior salvo su masa, carga y momento angular.

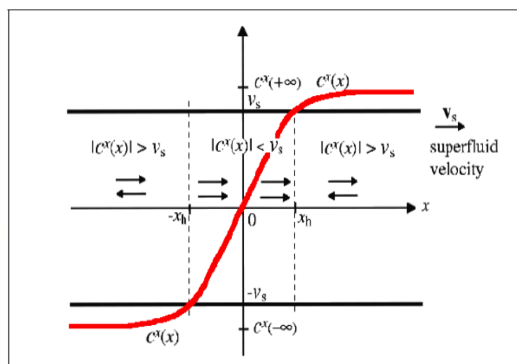
Su estudio ha logrado unir la gravitación con la termodinámica y la mecánica cuántica a través del fenómeno de evaporación del agujero negro y la temperatura de Hawking asociada a este fenómeno.

Recientemente se ha logrado generar una superficie que posee las mismas características de un horizonte de evento: una membrana con una sola vía. Este fenómeno se observa en la propagación de ondas en un superfluido que experimenta una transición de fase. (Ver Figura y referencias [1], [2] y [3])

El fenómeno ha sido comunicado en la referencia [2]. La analogía es total y reproduce un agujero negro (líneas punteadas verticales x_h a la derecha de la figura) y uno blanco (líneas punteadas a la izquierda $-x_h$). Más información aparece en el libro Artificial Black Holes [3].

La propuesta de investigación tiene dos etapas. En la primera el alumno debe familiarizarse con la física asociada a este fenómeno incluyendo la parte experimental señalada. Posteriormente se propone que investigue la posible extensión de estos agujeros negros acústicos a su símil en plasmas.

Para esto debe tratar el plasma como un fluido cargado donde es posible demostrar que en el régimen magnetohidrodinámico (MHD) [4], las ondas de Alfvén se propagan como si viajaran a través de un espacio-tiempo curvo tipo Schwarzschild cuya masa está relacionada con la velocidad de propagación de Alfvén.



- (1) The Universe in a Helium droplet, G. E. Volovik, Clarendon press, Oxford 2003.
- (2) Fiber-Optic Analog of the Event Horizon, Th. G. Philbin, et al., Science 319, 1367.
- (3) Artificial Black Holes, M. Novello, M. Visser and G. Volovik, eds. World Scientific, New Jersey 2002.

- (4) Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion, F. F. Chen, Springer 1984.

10.2. ¿Es posible nadar en el espacio-tiempo?

Cupos = 1 estudiante

Este problema ha sido estudiado en torno al movimiento de un cuerpo en un fluido con número de Reynolds bajo [Wilczek-1989]. Posteriormente esta idea fue utilizada para demostrar que el mismo fenómeno, auto propulsión por cambio de forma, es posible materializarlo en un espacio curvo, como es el caso de agujero negro de Schwarzschild [Wisdom-2003]. Recientemente esta idea reapareció en problemas más simples como un grupo de tres esferas inmersas en un fluido [Najafi-2004] y en cambios de órbita en una campo gravitacional newtoniano [Longo-2004].

Se propone re-estudiar este último problema [Longo-2004] eliminando algunas de las hipótesis que introdujo el autor y verificar si el resultado es correcto. Como se señala en la misma referencia, [Wisdom-2003] afirmó que este efecto no existe en la gravitación de Newton.

Dentro de este mismo esquema, se propone estudiar el formalismo introducido por Shapere y Wilczek [Shapere] para describir matemáticamente la deformación que un cuerpo. Este formalismo es similar al utilizado en la descripción de los campos de gauge. Lo interesante, por las potenciales aplicaciones a otros problemas, es la rotación neta que se puede generar a partir de las deformaciones de un cuerpo.

- (1) Geometry of self-propulsion at low Reynolds number, A. Shapere and F. Wilczek, J. Fluid Mech. (1989), pp 557-585.
- (2) Swimming in Spacetime: Motion by Cyclic Changes in Body Shape, J. Wisdom, Science, 299, pp 1865-1869, (2003).
- (3) Simple swimmer at low Reynolds number: Three linked spheres. A. Najafi and R. Golestanian, Phys. Rev. E, 69, 062901, (2004)
- (4) Swimming in Newtonian space-time: Orbital changes by cyclic changes in body shape. M. Longo, Am. J. Phys. 72, (10), pp. 1312-1315, (2004).
- (5) Gauge Kinematics of Deformable Bodies, A. Shapere and F. Wilczek in Geometric Phases in Physics, A. Shapere and F. Wilczek, eds. (World Scientific, London, 1989), pp 449-460.