

Reporte de actividades desarrolladas durante el periodo sabático

Dra. Ana Laura García Perciante

Departamento de Matemáticas Aplicadas y Sistemas División de Ciencias Naturales e Ingeniería

UAM, Unidad Cuajimalpa

Datos generales del proyecto académico

Nombre: *Termodinámica irreversible lineal de fluidos relativistas: fundamentos microscópicos, problemas abiertos y aplicaciones.*

Fecha de inicio: 23 de febrero de 2024

Fecha de término: 22 de febrero de 2025

Duración: 12 meses

Objetivo general

El objetivo general planteado consistió en establecer de manera formal los fundamentos microscópicos de las teorías de primer orden de termodinámica irreversible lineal relativista y explorar a detalle la naturaleza de los fenómenos de transporte que predicen, considerando las representaciones flujo-fuerza en diferentes marcos y descomposiciones. Se busca concluir también si estos formalismos cumplen con los requisitos covariancia, estabilidad, causalidad y de ser bien planteados para estudiar aplicaciones relevantes en escenarios astrofísicos, cosmológicos y en sistemas experimentales. También se propuso dar continuidad y fortalecer la colaboración con el grupo de Relatividad y Gravitación de la FaMAF así como con los cuerpos académicos Física Estadística, Gravitación y Sistemas *Complejos*, de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, y *Modelos Matemáticos* Continuos y Aplicaciones en Física y Geometría, de la UAM-C.

Grado de avance

El objetivo propuesto fue cumplido a cabalidad en el sentido de que se realizó un trabajo teórico riguroso, no solamente desde el punto de vista microscópico sino también en el estudio de las ecuaciones de transporte obtenidas. Como resultado, se logró formular una teoría basada formalmente en la descripción microscópica de un gas diluido relativista, aplicando el método de Chapman-Enskog. Esta teoría indica el marco de las partículas con traza fija como el marco natural para la descripción de este tipo de sistemas. Se logró demostrar que el sistema de ecuaciones resultante, sujeto a la satisfacción de dos condiciones que se verificaron en dos escenarios, es causal y estable ante perturbaciones de las configuraciones de equilibrio a primer orden. También se probó que el sistema es fuertemente hiperbólico en el caso no lineal, lo cual implica que constituye un problema de Cauchy bien planteado. Estos resultados se obtuvieron en colaboración con integrantes del DMAS así como con el Dr. Sarbach y el Dr. Gabarrete, de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y la Universidad Nacional Autónoma de Honduras, respectivamente. En los trabajos se contó también con la participación del Dr. Guillermo Chacón Acosta, integrante del Cuerpo Académico Modelos Matemáticos Continuos y Aplicaciones en Física y Geometría, de la UAM-C. Se tuvo interacción con el grupo de Relatividad y Gravitación de la FaMAF (Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación, Universidad Nacional de Córdoba) en una primer estancia, pero no se pudo realizar una segunda visita en el período indicado en la planeación por cuestiones presupuestarias. Se tiene proyectada dicha estancia para el año 2025.

Actividades realizadas

- Dirección del proyecto terminal del alumno de Licenciatura en Matemáticas Aplicadas, Daniel Ocampo, quien cursó Proyecto Terminal III, y desarrolló su trabajo de titulación. Los resultados se encuentran en proceso de redacción y fueron presentados en tres foros especializados a nivel nacional.

- Se continuó el trabajo en el proyecto postdoctoral (Conahcyt) del Dr. José Félix Salazar “Estabilidad y causalidad en teorías de primer orden de termodinámica irreversible relativista, teorías del tipo divergente y su conexión con teoría cinética relativista”, quien obtuvo una prórroga por dos años más de estancia postdoctoral con el grupo.
- Se realizó trabajo conjunto con el Dr. Olivier Sarbach en su período de Cátedra Rodolfo Quintero, fortaleciendo así la colaboración con el grupo de la Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo.
- Se realizó una estancia corta de investigación en FaMAF. Se proyecta una segunda estancia en el futuro cercano, la cual está sujeta a disponibilidad presupuestaria.
- Se realizó una estancia corta de investigación en la Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo.
- Se organizaron dos seminarios sobre temas de teoría cinética, hidrodinámica y astrofísica relativistas con investigadores de otras instituciones en los cuales se contó con participación de estudiantes de las carreras del Departamento de Matemáticas Aplicadas y Sistemas.
- Se realizó un primer contacto para explorar la posibilidad de realizar intercambios académicos y estudiantiles con la Universidad Nacional de Córdoba y se comenzó a explorar la viabilidad de un planteamiento similar con la Universidad Nacional Autónoma de Honduras.
- Me integré a la Mesa Directiva de la División de Gravitación y Física Matemática de la Sociedad Mexicana de Física como vicepresidenta en por el período 2025-2027.
- Participé en la organización del XV Taller de la División de Gravitación y Física Matemática de la Sociedad Mexicana de Física.

- Participé en el conversatorio “Conoce a una científica” en el evento “Día Internacional de la Mujer y la Niña en la Ciencia” (5ta edición).
- Participé en el Podcast “Expreso de Ciencias.”
- Participé en la XXXII Reunión de la División de Gravitación y Física Matemática de la Sociedad Mexicana de Física con la conferencia: *Efectos del campo gravitacional en el flujo de calor desde la perspectiva de la teoría cinética.*
- Participé en el evento Grav24 en la Universidad Nacional de Córdoba con la conferencia invitada: *Transport properties of relativistic gases: the first order kinetic theory approach.*
- Participé en el LXVII Congreso Nacional de Física con el trabajo: *Existencia y unicidad de la solución de Chapman-Enskog para la ecuación de Boltzmann relativista.*
- Participé en el XV Taller de la División de Gravitación y Física Matemática de la Sociedad Mexicana de Física con la charla: *Existencia de la solución de Chapman-Enskog y su relación con las teorías de primer orden para fluidos.*
- Participé como jurado en el examen de Maestría de Sarahí Silva García del Posgrado en Astrofísica de la UNAM.
- Se publicaron los siguientes artículos:
 1. A. L. García-Perciante, A. R. Méndez, and O. Sarbach, Existence of the Chapman-Enskog solution and its relation with first-order dissipative fluid theories, Journal of Non-Equilibrium Thermodynamics 50, 295, <https://doi.org/10.1515/jnet-2024-0086>.
 2. J. F. Salazar, A. L. García-Perciante, and O. Sarbach, Relativistic dissipative fluids in the trace-fixed particle frame: hyperbolicity, causality and stability, Phys. Rev. D 111, L081501, DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.111.L081501>.

3. J. F. Salazar, A. L. García-Perciante, and O. Sarbach, Relativistic dissipative fluids in the trace-fixed particle frame: strongly hyperbolic quasi-linear first-order evolution equations, Phys. Rev. D 111, 084024, DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.111.084024>.

Metas

Las metas esperadas, un artículo aceptado en revista indexada y uno sometido a revisión, difusión de los avances y resultados en foros especializados, y actividades de divulgación fueron cumplidas y excedidas. Se publicaron tres artículos de investigación en revistas indexadas, se presentaron los avances y resultados en 4 foros y se realizaron dos actividades de divulgación. Se adjuntan a este reporte los probatorios correspondientes.