

GEOMETROTERMODINÁMICA Y SUS APLICACIONES

Hernando Quevedo* y María Quevedo**

**Universidad Nacional Autónoma de México y Universidad de Roma,*

***Universidad Militar Nueva Granada*

quevedo@nucleares.unam.mx, maria.quevedo@unimilitar.edu.co

En este cursillo presentaremos una introducción a la geometrotermodinámica, formalismo que describe las propiedades de sistemas termodinámicos mediante conceptos de geometría diferencial. Así, la interacción termodinámica se representa mediante la curvatura del espacio de equilibrio, las transiciones de fase mediante sus singularidades de curvatura y los procesos cuasi-estáticos mediante sus geodésicas. Explicaremos cómo se puede aplicar este formalismo para describir la historia de nuestro Universo, comenzando por la era inflacionaria relativista hasta llegar al estado actual dominado por la energía oscura. Además, demostraremos que el espacio de equilibrio del gas ideal tiene una estructura causal análoga a la teoría especial de la relatividad de Einstein.

INTRODUCCIÓN

El cursillo tiene por objetivo presentar a la audiencia del Encuentro parte de los resultados obtenidos durante los últimos ocho años en el grupo de investigación del ponente, en colaboración con investigadores y estudiantes de postgrado de la Universidad Nacional Autónoma de México y de la Universidad de Roma. El formalismo de la geometrotermodinámica (GTD) fue propuesto en (Quevedo, 2007), con el fin de describir las propiedades de sistemas termodinámicos en equilibrio de manera invariante, utilizando las bases conceptuales de la geometría diferencial de Riemann. Todos los resultados que se presentarán han sido publicados en diferentes revistas internacionales y, en particular, daremos un resumen de los artículos mencionados en las Referencias.

Han sido varias las áreas de la física donde la GTD ha encontrado aplicaciones directas. En primer lugar, se ha visto que para todo sistema termodinámico ordinario (sistema de laboratorio) especificado mediante una ecuación fundamental es posible encontrar una métrica en el espacio de equilibrio que reproduce correctamente las propiedades termodinámicas del sistema en cuestión (Vázquez, Quevedo y Sánchez, 2010). En el caso de sistemas exóticos, tales como hoyos negros gravitacionales (Quevedo, 2008), se logró

derivar una formulación unificada en el contexto de termodinámica geométrica (Álvarez, Quevedo y Sánchez, 2008). En química teórica se demostró que una reacción química de cualquier índole se puede representar como una geodésica en el espacio de equilibrio, dando de esta manera una interpretación geométrica a las reacciones químicas. Además se ha demostrado que las leyes termodinámicas que rigen en la econofísica se pueden formular en el contexto de la GTD de forma tal que las crisis financieras pueden ser interpretadas como transiciones de fase que se manifiestan como singularidades de curvatura del espacio de equilibrio.

En este curso nos limitaremos a presentar dos aplicaciones particulares de la GTD en el área de cosmología relativista y en el contexto del gas ideal cuyo espacio de equilibrio resulta tener una estructura semejante a la de la relatividad especial de Einstein.

La asistencia a este cursillo no requiere de una preparación técnica especializada por parte de la audiencia. Todos los conceptos serán definidos de forma breve e intuitiva y los resultados se presentarán en un nivel básico, equivalente al de estudiantes de pregrado en física o matemáticas.

CONCEPTOS BÁSICOS DE GEOMETROTERMODINÁMICA

Dado un sistema en equilibrio con n grados de libertad termodinámicos, en GTD se construye primero el espacio fase termodinámico que tiene $2n + 1$ dimensiones. El objetivo de este espacio es permitir la introducción de una métrica riemanniana invariante ante transformaciones de Legendre o, en términos de conceptos de termodinámica clásica, independiente de la selección del potencial termodinámico. Luego, mediante la especificación de una ecuación fundamental se obtiene el espacio de equilibrio de n dimensiones, el cual es, a su vez, un subespacio del espacio fase termodinámico (Quevedo y Quevedo, 2011). Las propiedades geométricas del espacio de equilibrio están relacionadas con las propiedades termodinámicas del sistema en cuestión. El objetivo de la GTD es mostrar que para todos los sistemas termodinámicos es posible encontrar una relación entre la curvatura del espacio de equilibrio y la interacción termodinámica de forma tal que las singularidades de curvatura correspondan a transiciones de fase. Además, se demuestra que un proceso cuasi-estático libre se puede interpretar como una geodésica a lo largo de la cual se cumplen las leyes de la termodinámica. De esta manera, se halla una

especie de diccionario entre las propiedades termodinámicas de un sistema y las propiedades geométricas de su espacio de equilibrio.

Geometrotermodinámica en cosmología relativista

La GTD permite derivar ecuaciones fundamentales a partir de un principio variacional, mismas que pueden ser usadas para describir diferentes sistemas termodinámicos. Se demuestra que una ecuación fundamental muy particular se puede usar para describir la historia termodinámica del Universo en el contexto de la teoría de la relatividad de Einstein (Aviles, Bastarrachea-Almodovar, Campuzano y Quevedo, 2012). Esto significa que dicha ecuación fundamental se puede utilizar para generar las diferentes ecuaciones de estado del modelo cosmológico estándar, incluyendo épocas dominadas por la radiación, la materia bosónica y finalmente por la energía oscura. Además, se presenta una ecuación fundamental generalizada que lleva a transiciones de fase y tentativamente se puede implementar para describir la época inflacionaria del Universo.

Estructura relativista de la termodinámica clásica

Un análisis exhaustivo del espacio de equilibrio del gas ideal muestra que posee una estructura semejante a la estructura causal de la teoría especial de la relatividad (Quevedo, Sánchez y Vázquez, 2015). Las geodésicas termodinámicas permiten asociar la dirección del crecimiento de la entropía con la “dirección del tiempo”. De igual manera, se puede definir un cono adiabático, similar al cono de luz de la relatividad especial, el cual permite introducir el concepto de futuro y pasado adiabático. La tercera ley de la termodinámica implica que se debe eliminar un punto del espacio de equilibrio, lo cual se puede interpretar como un cambio de la topología correspondiente. De esa manera, se obtiene una descripción geométrica y topológica de la tercera ley.

CONCLUSIONES

La GTD es un formalismo que permite describir de forma invariante las propiedades termodinámicas de un sistema en términos de conceptos de geometría diferencial. Tiene aplicaciones en muchas áreas de las ciencias, tales como termodinámica de hoyos negros, cosmología relativista, química teórica, econofísica.

REFERENCIAS

- Álvarez, J. L., Quevedo, H. y Sánchez, A. (2008). Unified geometric description of black hole thermodynamics. *Physical Review D*, 77, 084004.
- Aviles, A., Bastarrachea-Almodovar, A., Campuzano, L. y Quevedo, H. (2012). Extending the generalized chaplygin gas model by using geometrothermodynamics. *Physical Review D*, 86, 063508.
- Quevedo, H. (2007). Geometrothermodynamics. *Journal of Mathematical Physics*, 48, 013506.
- Quevedo, H. (2008). Geometrothermodynamics of black holes. *General Relativity and Gravitation*, 40, 971-984.
- Quevedo, H. y Quevedo, M. N. (2011). Fundamentals of geometro-thermodynamics. *Electronic Journal of Theoretical Physics*, 1-16.
- Quevedo, H., Sánchez, A. y Vázquez, A. (2015). Relativistic like structure of classical thermodynamics. *General Relativity and Gravitation*, 47, 36.
- Vázquez, A., Quevedo, H. y Sánchez, A. (2010). Thermodynamic systems as extremal hypersurfaces. *Journal of Geometry and Physics*, 60, 1942-1949.