

# Entropía negativa entre esferas metálicas debida al efecto Casimir.

Pablo Rodríguez-Lopez\*

*GISC y Departamento de Matemáticas, Universidad Carlos III de Madrid, 28911 Leganés (Madrid).*

Debido a las fluctuaciones de vacío, entre dos placas metálicas descargadas aparece una fuerza atractiva<sup>1</sup>. Estas fuerzas de Casimir son ubicuas en la Naturaleza, y han sido estudiadas en muy diferentes contextos<sup>2</sup>.

El cálculo general de las fuerzas de Casimir entre cuerpos de geometría arbitraria ha sido inabordable hasta hace bien poco, cuando Emig et. al.<sup>3,4</sup> propusieron un método de multiscattering y calcularon por primera vez la fuerza de Casimir entre dos esferas metálicas en 2007.

Desde entonces, se han podido estudiar nuevas geometrías y diferentes propiedades de la interacción de Casimir, como es la no monotonicidad de la interacción entre dos cuerpos en presencia de un tercero, la "levitación cuántica" (efecto Casimir repulsivo) o la aparición de entropías negativas en diferentes configuraciones muy naturales y experimentalmente relevantes.

En este trabajo<sup>5</sup> estudiamos la aparición de entropías negativas en sistemas de dos cuerpos que interactúan mediante el efecto Casimir. En particular, por simplicidad, nuestro estudio se centra en el caso de dos esferas perfectamente metálicas de radio  $R$  que interactúan a través de la fuerza de Casimir. Los casos de esferas con modelos más realistas de metales (Drude y Plasma) también han sido estudiados.

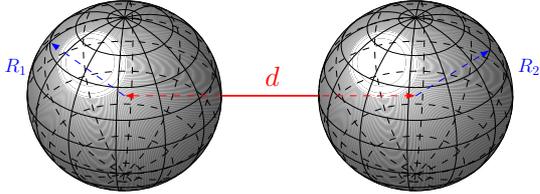


FIG. 1. Representación del sistema en estudio. Dos esferas perfectamente metálicas de mismo radio  $R$ , cuyos centros se hayan separados una distancia  $d$ , sometidas a una temperatura  $T$ .

Incluso en este sistema tan sencillo, encontramos que a cualquier temperatura no nula, existe un intervalo de distancias entre las esferas en el cual la entropía es negativa. Además, demostramos que la entropía es siempre positiva tanto a cortas como a largas distancias.

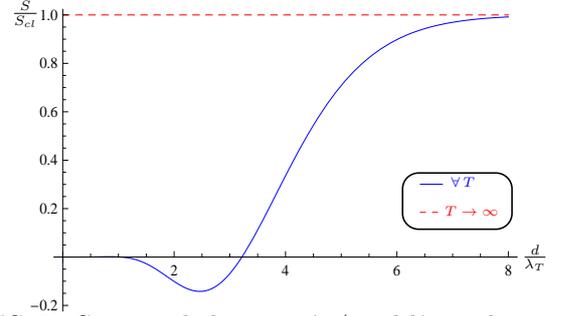


FIG. 2. Cociente de la entropía (en el límite de gran distancia entre las esferas) entre dos esferas metálicas y su límite de alta temperatura como una función de la variable adimensional  $z = \frac{d}{\lambda_T} = 2\pi \frac{k_B T d}{\hbar c}$ , donde  $d$  es la distancia entre los centros de las esferas y  $T$  la temperatura del sistema en estudio.

Obtenemos que el origen de las entropías negativas en este sistema es el acoplo de los modos TE y TM de los cuerpos en interacción, lo que implica que este efecto es característico del efecto Casimir electromagnético, sin análogo escalar.

Por último, haciendo un estudio termodinámico del sistema, demostramos que este verifica la segunda y tercera ley de la Termodinámica y que la única consecuencia de la aparición de entropías negativas en el sistema en estudio es una no monotonicidad de la fuerza de Casimir con la temperatura.

Concluyendo, en este trabajo explicamos el origen de entropías negativas en un tipo de sistemas sujetos a efecto Casimir y las consecuencias que se derivan de dicho fenómeno.

\* pabrodri@math.uc3m.es.

<sup>1</sup> H. B. G. Casimir, Proc. K. Ned. Akad. Wet. **51**, 793 (1948).

<sup>2</sup> M. Kardar and R. Golestanian, Rev. Mod. Phys. **71**, 1233 (1999).

<sup>3</sup> T. Emig, N. Graham, R.L. Jaffe, and M. Kardar, Phys. Rev. Lett. **99**, 170403 (2007).

<sup>4</sup> S.J. Rahi, T. Emig, N. Graham, R.L. Jaffe, and M. Kardar, Phys. Rev. D **80**, 085021 (2009).

<sup>5</sup> P. Rodríguez-Lopez, Phys. Rev. B **84**, 075431 (2011)