

Flujo de calor de un gas granular con temperatura homogénea

Nagi Khalil

IFISC (CSIC-UIB), Instituto de Física Interdisciplinar y Sistemas Complejos,
Campus Universitat de les Illes Balears, E-07122, Palma de Mallorca, Spain.

Se llama gas granular a un sistema formado partículas macroscópicas que experimentan colisiones inelásticas de muy corto alcance, es por así decirlo, un gas molecular en escalas macroscópicas con colisiones inelásticas entre sus moléculas. En la Naturaleza, nos topamos con un gas granular cuando agitamos con suficiente energía un contenedor de arena o en los anillos de Saturno, por ejemplo. La analogía con los gases moleculares ha permitido, por una parte, abordar un estudio sistemático y fundamental de los gases granulares basados en la Teoría Cinética; y por otro parte, comprender y cuantificar las importantes diferencias introducidas por la disipación. Una de estas diferencias tiene que ver con las ecuaciones macroscópicas, a saber, las que involucran la densidad de partículas, velocidad macroscópica y temperatura granular (una medida de la energía cinética media de los granos). Mientras que las ecuaciones para la densidad y campo de velocidad son análogas en ambos casos, en el caso de la ecuación para la temperatura aparecen al menos dos diferencias importantes: un término de fuente que da cuenta de la disipación de la energía y, a nivel de Navier–Stokes, un nuevo término de acoplo directo entre el flujo de calor y el gradiente de densidad. Es decir, la ley de Fourier ahora puede escribirse como [1, 2]

$$\mathbf{q} = -\kappa \nabla T - \mu \nabla n$$

donde κ es la conductividad térmica y μ el nuevo coeficiente de transporte que suele llamarse conductividad difusiva.

El presente trabajo nació motivado por la siguiente pregunta: ¿existe algún estado estacionario del gas granular en el que el flujo de calor se deba exclusivamente al nuevo término, es decir, que sea no nulo a pesar de que la temperatura sea homogénea? La respuesta resulta ser afirmativa si el sistema tiene campo de velocidad nulo y además está sujeto a una fuerza externa no uniforme concreta, o equivalentemente, si el gas granular está encerrado en un silo bidimensional con una curvatura concreta bajo presencia del campo gravitatorio uniforme, como en la figura 1.

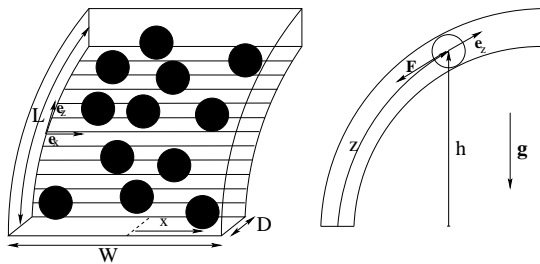


Figure 1: Esquema del sistema.

El análisis de las ecuaciones hidrodinámica en el orden de Navier-Stokes para el gas granular revela la existencia de una única solución (perfiles de densidad y temperatura

únicos así como coeficiente μ único) correspondiente al estado buscado y permite determinar la forma funcional de la fuerza externa, o la forma del silo. Sorprendentemente, una descripción más fina del sistema, la que proporciona la ecuación de Boltzmann inelástica por ejemplo, predice infinitas soluciones (dependientes de un parámetro β) asociadas al estado (diferentes perfiles de densidad y temperaturas y diferentes valores de μ para distintos β) para la misma forma funcional de la fuerza deducida por la descripción hidrodinámica. La resolución exacta de un modelo cinético y las simulaciones de dinámica molecular del sistema confirman este último hecho, véanse las figuras siguientes [3].

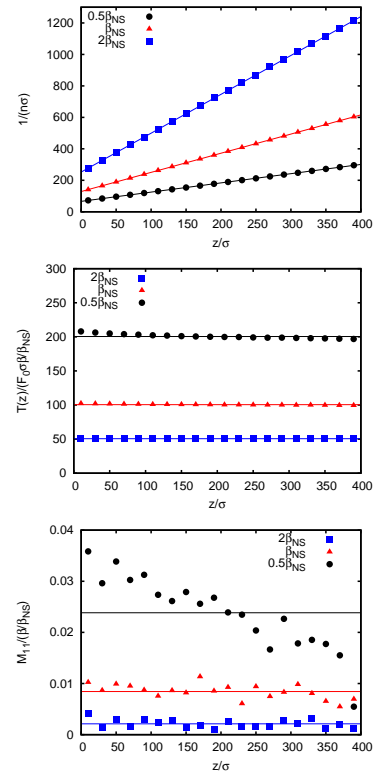


Figure 2: Teoría (líneas) y simulaciones (símbolos) de distintas magnitudes del sistema para tres valores del parámetro β , uno de ellos correspondiente a la predicción hidrodinámica de Navier–Stokes ($\beta = \beta_{NS}$). Arriba: inverso del campo de densidades. Centro: perfil de temperaturas. Abajo: magnitud proporcional a μ .

[1] J. J. Brey, J. W. Dufty, C. S. Kim, and A. Santos, *Phys. Rev. E* **58** 4638 (1998)

[2] Goldhirsch I, *Annual Review of Fluid Mechanics* **35** 267 (2003)

[3] Nagi Khalil, *J. Stat. Mech.* 103209 (2016)