

The microscopic mechanism of ice friction

Lukasz Baran¹, Pablo Llombart² y Luis G. MacDowell³.

¹Institute of Chemical Sciences, Maria Curie-Skłodowska University in Lublin, Poland.

² Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid, Spain.

³Departamento de Química Física, Universidad Complutense de Madrid, Spain.

Aunque las propiedades deslizantes del hielo nos son a todos familiares, las causas de este comportamiento tienen una larga historia de controversias sin resolver [1]. Durante más de un siglo, se ha aceptado que la razón fundamental que causa tan baja fricción es la presencia de una capa delgada de agua fundida que hace las veces de lubricante. Sin embargo, no hay consenso sobre el origen de esta capa de lubricación. Entre las hipótesis barajadas se han invocado el derretimiento por presión característico del hielo; el fenómeno de mojado superficial o 'premelting'; y la fusión por disipación de calor [1]. Más recientemente, se ha propuesto que la lubricación no juega papel alguno, sino que la fricción del hielo a baja temperatura es principalmente adhesiva y que se puede describir en términos de propiedades meramente mecánicas a alta temperatura [2].

Desgraciadamente, ninguna de estas hipótesis es fácilmente verificable mediante experimentos macroscópicos. ¿Cuál es el espesor de la capa de lubricación en condiciones estáticas? ¿Cómo cambia con la naturaleza del sustrato? ¿Aumenta significativamente con la presión o la cizalladura? ¿Es suficiente el espesor resultante para el establecimiento de un flujo de Couette?

En este trabajo usaremos herramientas desarrolladas en nuestros recientes estudios sobre la estructura superficial del hielo [3, 4, 5, 6], con el objeto de comprender los mecanismos microscópicos responsables de su bajo coeficiente de fricción.

Sliding on ice is a familiar experience, but the reason why ice has such a low friction has a long and controversial history [1]. For many years, it has been assumed that the main reason for the low friction of ice is due to the formation of a thick lubrication layer of meltwater. However, there is no consensus on the origin of the meltwater film. Among the different hypothesis enumerated are pressure melting, ice premelting and frictional heating of the surface [1]. Very recently, however, it has been suggested that lubrication plays no role whatsoever, and that ice friction is of adhesive origin at low temperature and can be explained in terms of mechanical properties at high temperature. [2].

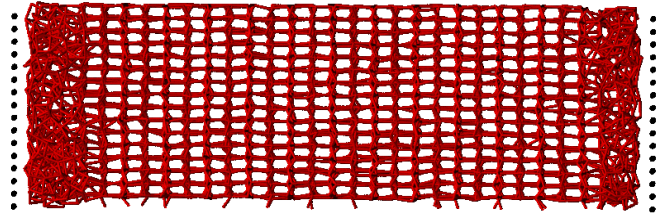


Fig. 1. Hielo confinado entre dos superficies. Se observa la formación de una capa superficial desordenada.

Unfortunately, these hypothesis cannot be easily confirmed by macroscopic experiments. What is the actual thickness of the watery lubrication film under static conditions? Does it change significantly with the nature of the substrate? Does it become thicker upon increasing the pressure or shearing? Is the resulting thickness sufficient for the establishment of a lubricating Couette flow?

In this work we borrow tools from our recent investigations on the structure of ice premelting [3, 4, 5, 6], in order to understand better the microscopic origin of the low friction coefficient of ice.

-
- [1] Rosenberg *Why is ice slippery?*, Phys. Today **58**, 50 (2005).
 - [2] Liefferink, Hsia, Weber and Bonn, *Friction on Ice*, Phys. Rev. X, **11**, 011025 (2021).
 - [3] Benet, Llombart, Sanz and MacDowell, *Premelting of the Ice-Vapor Interface*, Phys. Rev. Lett. **117**, 096101 (2016).
 - [4] Llombart, Noya, Sibley, Archer and MacDowell, *Rounded Layering Transitions on the Surface of Ice*, Phys. Rev. Lett. **124**, 065702 (2020).
 - [5] Llombart, Noya and MacDowell, *Surface Phase Transitions and Crystal Habits of Ice in the Atmosphere*, Sci. Adv. **6** eaay9322 (2020).
 - [6] Sibley, Llombart, Noya, Archer and MacDowell, *How ice grows from premelting films and liquid droplets*, Nat. Comm. **12** 239 (2021).