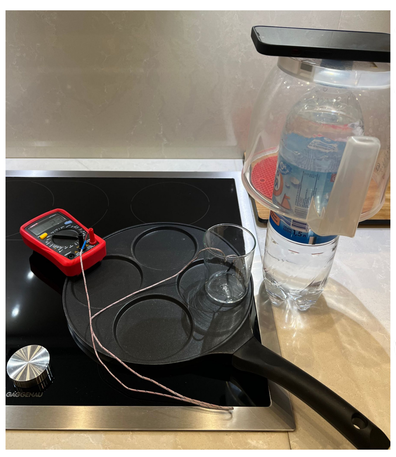
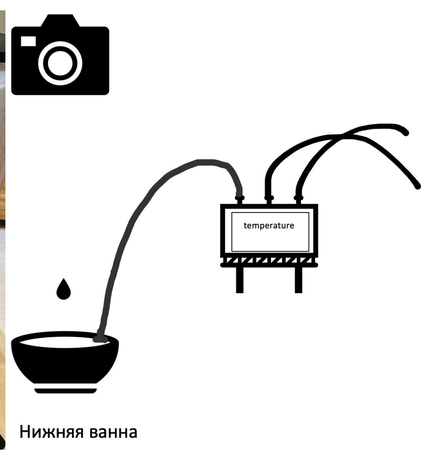
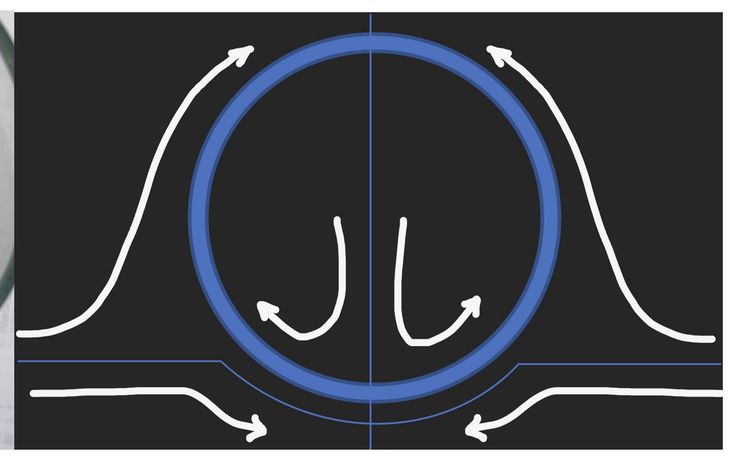
Левитация некипящих капель: устойчивость и манипуляция

Мы изучаем поведение капель летучих жидкостей (спирта и воды), помещенных над нагретой поверхностью другой жидкости (силиконового масла). Капли висят над поверхностью масла длительное время за счет конвекции. Если организовать течение в масле, то можно управлять положением капли и перемещать ее вдоль поверхности в заданную точку.

Установка и наблюдения

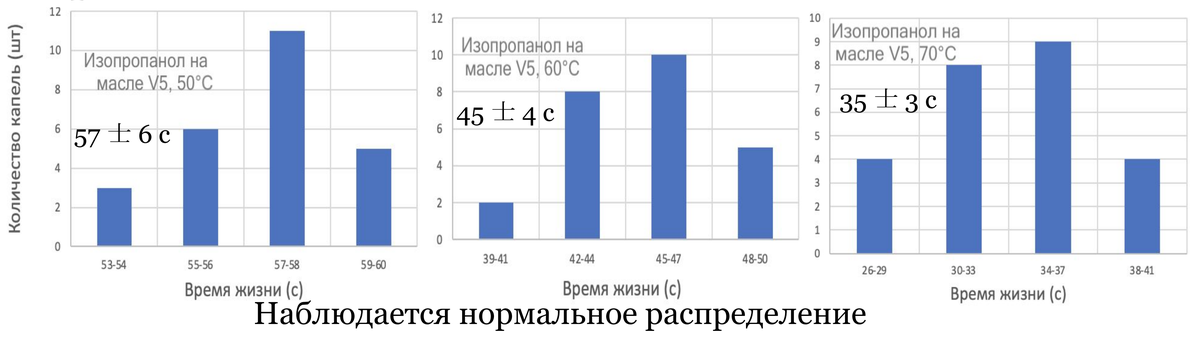




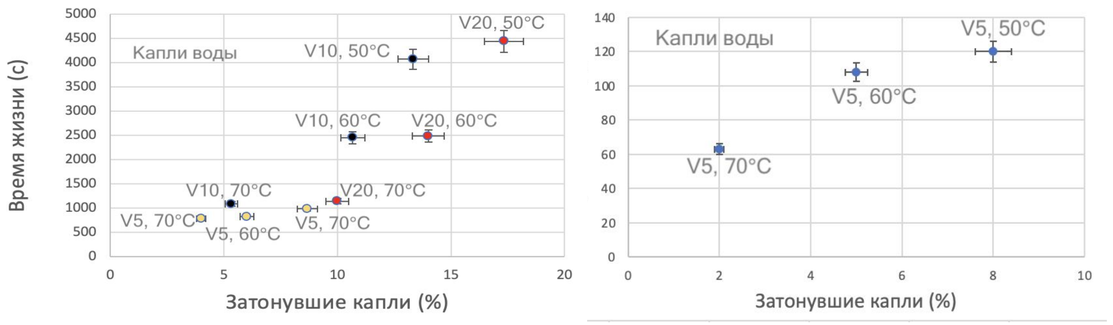


1. Нагреваем масло до температуры 40 - 70 °C
2. Капаем одну каплю воды или спирта из шприца (R_0~1 мм)
3. Наблюдаем за поведением капли
4. Капля может затонуть сразу или висеть долгое время
5. Время жизни капли - случайная величина
6. Капля висит над нисходящим потоком в масле

Время жизни капли



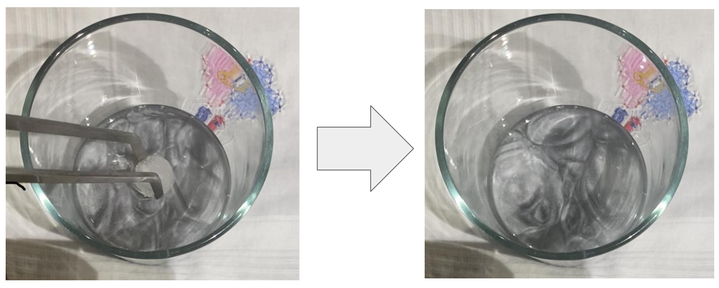
Наблюдается нормальное распределение



Управление конвекцией

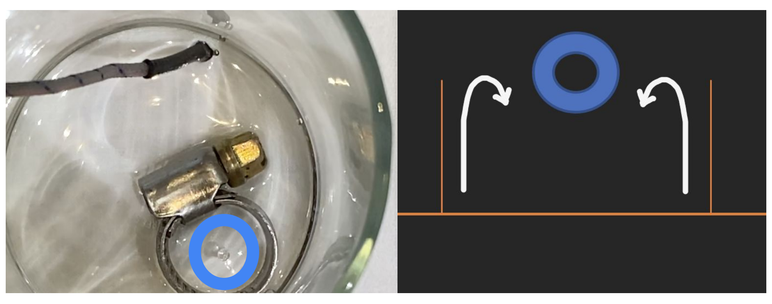
1. Льдинка на дне:

   Крупная нестабильная конвективная ячейка
   Левитации нет

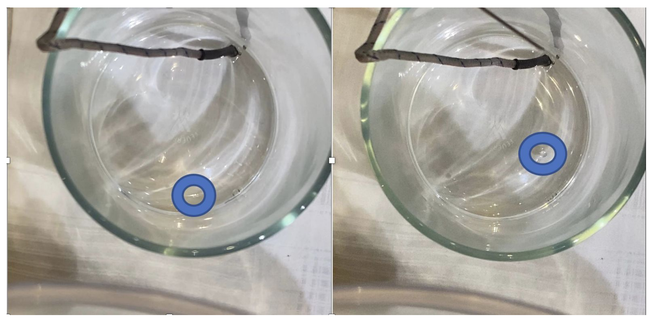


2. Металлический хомут

   Конвективная ячейка внутри хомута
   Стабильная левитация

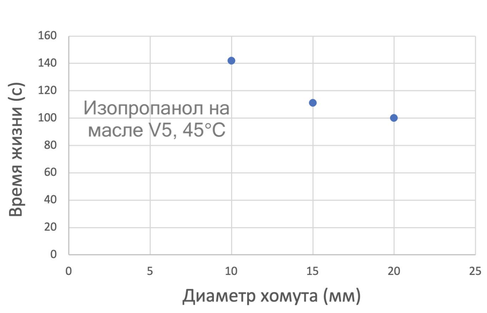


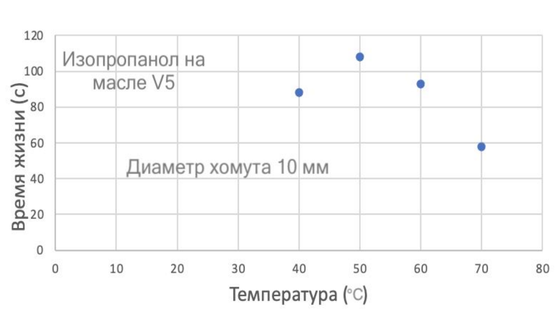
Движение капли



Капля перемещается вдоль поверхности, отслеживая самое холодное место

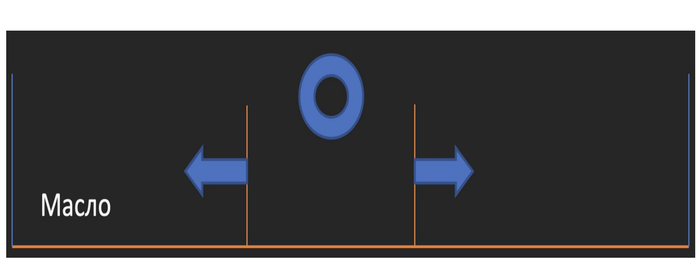
Капля над хомутом





Оптимальные параметры: маленький хомут при температуре ~50 С

Схема манипуляции



Капля перемещается за хомутом

Выводы

1. В процессе левитации каплю удерживают над поверхностью конвективные потоки, от стабильности и скорости которых зависит время левитации.
2. Капля следует за потоками конвективного течения и располагается над наиболее холодной точкой поверхности.
3. Можно манипулировать устойчивостью и движением капли за счет изменения характеристик конвективных потоков.
4. Металлический цилиндр (хомут) фиксирует положение конвективной ячейки, стабилизирует левитацию, увеличивает время жизни капли и вероятность левитации.
5. Результаты могут быть использованы в химических микрореакторах

Список литературы

[1] Goyette, PA., Boulais, É., Normandeau, F. *et al.* Microfluidic multipoles theory and applications. *Nat Commun* 10, 1781 (2019). https://doi.org/10.1038/s41467-019-09740-7
[2] Matsumoto, R., Hasegawa, K. Self-propelled Leidenfrost droplets on a heated glycerol pool. *Sci Rep* 11, 3954 (2021). https://doi.org/10.1038/s41598-021-83517-1
[3] Marzo, A., Seah, S., Drinkwater, B. *et al.* Holographic acoustic elements for manipulation of levitated objects. *Nat Commun* 6, 8661 (2015). https://doi.org/10.1038/ncomms9661
[4] Walker, J. Drops of liquid can be made to float on the liquid. What enables them to do so? The Amateur Scientist, Sci. Am. 238, 151–158 (1978)
[5] J. G. Leidenfrost, “On the fixation of water in diverse fire,” Int. J. Heat Mass Transfer 9, 1153–1166 (1966).
[6] D. Quéré, “Leidenfrost dynamics,” Annu. Rev. Fluid Mech. 45, 197–215 (2013)
[7] A. Duchesne, C. Savaro, L. Lebon, C. Pirat, and L. Limat, “Multiple rotations of a drop rolling inside a horizontal circular hydraulic jump,” Europhys. Lett. 102, 064001 (2013).
[8] P. Dell’Aversana, J. R. Banavar, and J. Koplik, “Suppression of coalescence by shear and temperature gradients,” Phys. Fluids 8, 15–28 (1996).
[9] E. Mogilevskiy , "Levitation of a non boiling droplet over hot liquid bath", Physics of Fluids 32, 012114 (2020) https://doi.org/10.1063/1.5131818