

## ОСЦИЛЛЯТОРНАЯ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ ЖИДКОЙ КАПЛИ-ЛИНЗЫ ПРИ ЕЕ НЕПРЕРЫВНОМ ЛАЗЕРНОМ НАГРЕВЕ

Ж. Гусбе\*, П.П. Пашинин, С.Ф. Растопов, А.Т. Суходольский

*Обнаружен новый вид неустойчивости движения жидкости, возникающей при непрерывном лазерном нагреве поглощающей жидкой капли-линзы, покоящейся на поверхности прозрачной жидкости, приводящий к периодическим колебаниям формы капли с частотой 0,5—3 Гц.*

В /1—4/ исследовались эффекты периодического массопереноса и колебаний формы поверхности жидкости под действием лазерного излучения. Получившая название эффекта "сердцебиения" (Heartbeats (HB)) неустойчивость движения жидкости исследовалась в основном в двух экспериментальных схемах. В первом случае лазерный пучок распространялся горизонтально вблизи открытой свободной поверхности (HB1) /2, 4/, во втором случае пучок направлялся снизу вверх на тонкий слой жидкости (HB2) /2, 3/.

В данной работе описан первый эксперимент по наблюдению аналогичного эффекта, но в новой конфигурации (HB3), когда вместо однокомпонентной жидкости возбуждаются колебания в поглощающей капле-линзе, покоящейся на поверхности другой прозрачной жидкости.

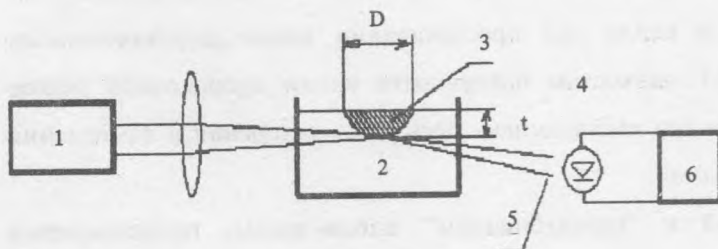


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

Схема эксперимента представлена на рис. 1. Источником накачки служило излучение аргонового лазера (1) мощностью до 300 мВт. Исследовались колебания капли веретенного масла, покоящейся на поверхности прозрачного спирто-водного раствора. Концентрация спирта в этой смеси (2), играющей роль подложки, подбиралась таким образом, чтобы толщина капли (3)  $t$

\* Institut National des Sciences Appliquees (INSA), Франция.

составляла 2 мм, а диаметр  $D$  до 22 мм. В масло добавлялся поглотитель, коэффициент поглощения составлял  $20\text{--}30\text{ см}^{-1}$ . Сфокусированный лазерный пучок (диаметр 0,2 мм) направлялся горизонтально через прозрачную стенку кюветы и освещал каплю на глубине  $d$  от ее свободной границы. Колебания регистрировались фотодиодом (4), установленным так, что отраженный от капли пучок (5) аргонового лазера попадал в него только тогда, когда в результате "сердцебиения" происходило значительное искажение формы капли и изменение  $t$  и  $D$ . Частота колебаний и форма импульсов с фотодиода регистрировалась осциллографом (6).

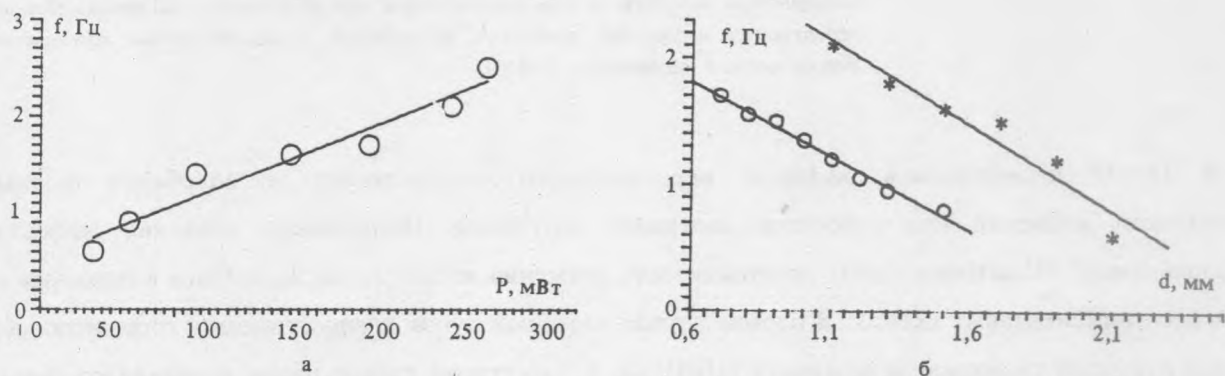


Рис. 2. Зависимость частоты колебаний капли  $f$  от мощности  $P$  (а) при  $d = 1,2$  мм и от глубины  $d$  (б) при  $P = 50$  мВт (○) и 86 мВт (\*).

На рис. 2 представлены зависимости частоты колебаний от мощности накачки  $P$  (а) и от расстояния  $d$  лазерного пучка до свободной поверхности (б). Они хорошо аппроксимируются линейными зависимостями (сплошные линии на рис. 2).

Процесс осцилляторной неустойчивости наблюдался также визуально с помощью микроскопа. Наблюдался восходящий поток жидкости в капле при просвечивании капли дополнительным световым пучком. При достижении горячей жидкостью поверхности капли происходило резкое возрастание скорости потока с последующим его замедлением. Весь цикл ускорения и замедления потока занимал около 10% от периода колебаний.

Механизм неустойчивости, приводящий к "сердцебиениям" капли-линзы, представляется следующим образом. В процессе тепломассопереноса в данной конфигурации эксперимента участвуют в основном архимедовы силы, выталкивающие снизу нагретые слои жидкости в объеме капли, и силы Марангони на поверхности капли, которые возникают за счет разницы поверхностного натяжения в точке, где нагретая струя выходит на открытую поверхность, и на периферии капли. Лавинообразное нарастание скорости массопереноса и резкое изменение диаметра капли происходит за счет того, что, как только нагретая часть жидкости достигнет открытой поверхности, подключается механизм Марангони, который ускоряет поток. Нарастание

скорости потока приводит к возрастанию градиента температуры и, следовательно, к большей силе Марангони. Таким образом возникает положительная обратная связь и лавинообразное нарастание скорости потока.

Спад скорости потока и затем смена его знака обусловлены тем, что вся нагретая область поднимается на поверхность и на ее место приходят холодные слои. Тогда в центре восходящего потока температура становится меньше, чем на периферии, и знак сил Марангони меняется. Дополнительной возвращающей силой может служить стремление капли к равновесной конфигурации, задаваемой уравнением Юнга на периметре капли, и ее свойствами как механической системы, которую выводят из механического равновесия.

В заключение заметим, что для полного описания механизма колебаний необходимо решать довольно сложную сопряженную задачу тепло- и массопереноса с учетом подвижности всех границ капли, уравнений Юнга на периметре смачивания и т.п. Но даже сейчас можно надеяться, что обнаруженный эффект НВЗ может с успехом применяться в аналитических целях наряду с НВ1 и НВ2 /5/.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Takashima M. J. Phys. Soc. Jap., **50**, no. 8, 2751 (1981).
2. Gouesbet G. Intern. Journ. of the Japan Soc. of Mechanical Engineers, Series II, **32**, no. 3, 301 (1989).
3. Визнюк С.А., Суходольский А.Т. ЖТФ, **58**, 1000 (1988).
4. Vazhenov V.Yu. et al. Appl. Phys., **649**, 485 (1989).
5. Enokida Y., Shiga M., Suzuki A. Proceedings of the Third International Conference on Nuclear Fuel Reprocessing and Waste Management, vol. 2, 1991, p. 875.

Институт общей физики АН СССР

Поступила в редакцию 11 ноября 1991 г.