



Фрагментация заряженных капель воды после гравитационного отрыва от сопла¹

Андросенко В.Н.

Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, Москва

Влияние внешнего электрического поля на картину течения и структуру оторвавшейся капли жидкости было установлено еще в ранних экспериментах [1, 2]. В условиях, когда капля в процессе отрыва приобретает электрический заряд, её дальнейшее развитие идёт по пути не только изменения формы, но и деления на отдельные фрагменты, число и форма которых зависит от величины напряжённости электрического поля, формирующего заряд [3].

В настоящей работе приводятся результаты опытов по высокоскоростной видеорегистрации падения капли воды, оторвавшейся под собственным весом от сопла диаметром 1 мм.

Опыты проведены на стенде «Моделирования динамики капельных течений в электрическом поле» [3] из состава комплекса «ГФК ИПМех РАН» [?].

Для возможности регистрации момента падения капли был разработан прибор, устанавливаемый на стенд и позволяющий после падения капли выдать на систему регистрации и высокоскорост-

ную видеокамеру сигнал с длительностью 100 мс через настраиваемое время задержки.

Запускающий импульс формируется на основе перекрытия лазерного луча падающей каплей и изменения сигнала фотодиода, который меняется соответственно изменению интенсивности падающего на него излучения. Фотодиод и лазерный диод расположены на расстоянии 60 мм от места пересечения с падающей каплей для предотвращения электрического пробоя через прибор. Запускающий импульс длительностью 100 мс формируется с плавно настраиваемой временной задержкой в диапазоне от 0 до 560 мс, необходимой для синхронизации момента пролета капли в поле зрения объектива скоростной камеры с её запуском.

В данном эксперименте капля приобретала заряд в электрическом поле, которое создавалось источником высокого напряжения $U = 0 - 30$ кВ, приложенного к металлизированному наконечнику сопла (аноду) и алюминиевому электроду (катоде), помещенному в приемный резервуар. В настоящих опытах высота падения капли равнялась 50 м. Скорость видеосъемки — 5000 к/с.

В отсутствии электрического поля ($U = 0$) отрыв капли идёт по классическому сценарию [3]: между маточной жидкостью (у сопла) и каплей формируется тонкая перемычка, нижний конец которой (примыкающий к капле) истончается быстрее

¹Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 19-19-00598-П «Гидродинамика и энергетика капли и капельных струй: формирование, движение, распад, взаимодействие с контактной поверхностью», <https://rscf.ru/project/19-19-00598/>).

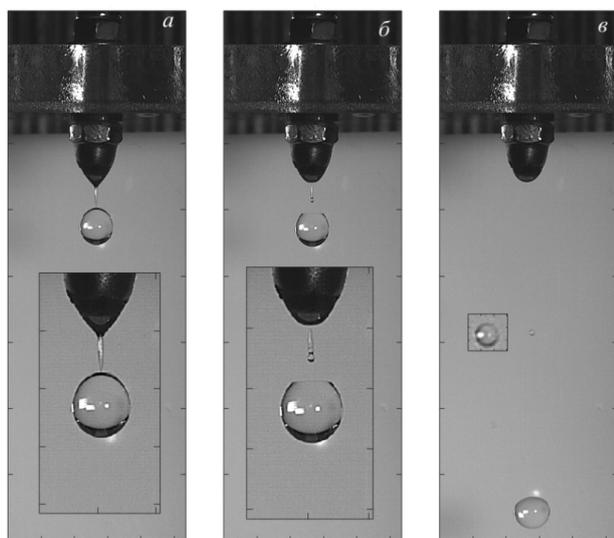


Рис. 1. Отрыв капли воды при $U = 0$ кВ. Время от момента полного отрыва, $a-v$: $t = -1.4, 0, 72$ мс. Деление на основном фото (X и Y) – 5 и 10 мм, на вставках (X и Y) $a, б$ – 5 мм, $в$ – 0.5 мм

верхнего (Рис. 1а). В результате капля отделяется от перемычки, которая приобретает форму фигуристой сосульки (Рис. 1б), но затем сворачивается в компактное тело – спутник – и продолжает падение вместе с основной каплей (Рис. 1в). Формы капли и спутника непрерывно меняются, становясь в отдельные моменты сферическими (Рис. 1в, вставка).

Приложенное напряжение приводит к изме-

нению сценария отрыва и формы отрывающейся капли, однако радикальные изменения начинаются при напряжении свыше 10 кВ. На Рис. 2 показан случай $U = 16$ кВ. Здесь, в отличие от нулевого напряжения, отрыв начинается со стороны маточной жидкости (Рис. 2а), и к этому моменту капля и перемычка составляют единое тело в форме булавы. «Булава» превращается в сложный комплекс, нижняя часть которого оформляется в виде капли, а верхняя (перемычка) представляет собой многозвенный набор из бусинок, диаметр которых уменьшается в направлении капли (Рис. 2б, вставка).

Ещё через 0.6 с. происходит полный отрыв капли от нижнего конца перемычки. К этому моменту перемычка теряет целостность – от неё отделяется группа нижних бусинок (Рис. 2в), и после серии превращений к моменту 18.2 мс основная масса перемычки стягивается в компактный объём, а нижние бусинки образуют отдельный небольшой фрагмент в форме шара (Рис. 2г, вставка).

Остаток перемычки (Рис. 2б, вставка) представляет собой периодическую структуру, в которой, как следует из пространственного спектра (Рис. 3), наиболее выделяются два масштаба – 0.3 и 0.4 мм.

При данной величине напряжения ($U = 16$ кВ) последующие отрывы происходят с примерно постоянным периодом, который существенно короче, чем в отсутствие электрического поля. Однако начальные геометрические параметры «булавы» не повторяются, что порождает многообразие структур, образующихся при её распаде.

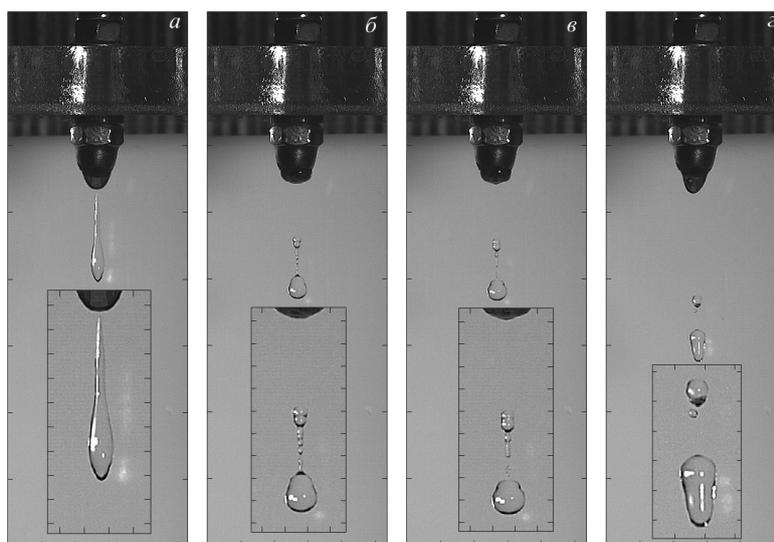


Рис. 2. Отрыв капли воды при $U = 16$ кВ. Время – от момента отрыва верхнего конца, $a-г$: $t = 0, 7.4, 8, 18.2$ мс. Деление на основном фото (X и Y), 5 и 10 мм, на вставках (X и Y) – 2 мм

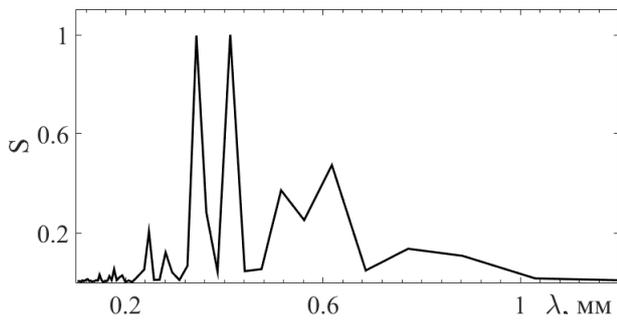


Рис. 3. Спектр масштабов структуры перемычки на вставке Рис. 2б

Список литературы

- [1] *Zeleny J.* The electrical discharge from liquid points, and a hydrostatic method of measuring the electric intensity at their surfaces // *Physical Review*. 1914. V. 3(2). P. 69–91. doi:10.1103/physrev.3.69.
- [2] *Zeleny J.* On the conditions of instability of electrified drops, with application to the electrical discharge from liquid points // *Proc. Cambridge Philos. Soc.* 1914. V. 18. part 1. p. 71. DOI:https://doi.org/10.1103/PhysRev.3.69.
- [3] *Чашечкин Ю.Д., Прохоров В.Е., Андросенко В.Н.* Моделирование влияния электрического поля на капельные течения // *Физико-химическая кинетика в газовой динамике*. 2023. Т. 24, вып. 4.