

О ДРЕЙФЕ КАПЕЛЬ И ГАЗОВЫХ ПУЗЫРЕЙ В ВЯЗКОЙ СРЕДЕ

Д. А. Рева, К. А. Рыбкин

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
614990, Пермь, Букирева, 15

На протяжении последних лет пузырьковые течения, как и движение одиночных пузырей, активно изучаются. Были получены важные теоретические решения, и накоплено значительное количество экспериментальных результатов.

Одними из первых, кто серьёзно задался вопросом о поведении пузырей газа в жидкости задалась авторы работы [1]. Ими было выведено известное графическое соотношение по форме и средних скоростей одного всплывающего пузыря в покоящейся жидкости. Эти зависимости показали, что два безразмерных числа, число Эштона (Eo) и число Мортонна (Mo), могут определить характеристики движения пузырька в гравитационном поле.

Как при всплытии пузыря, так и при падении капли, за объектом образуется поток - вихревая дорожка, которая представляет собой сорвавшиеся с поверхности объекта вихри. Одной из работ, где была получена визуализация вихрей всплывающего пузыря экспериментально, была работа [2]. Для их визуализации в рабочую полость были помещены мелкие частицы, съёмка производилась с длительной выдержкой.

В настоящее время вопрос о структуре, о механизме вихрей не теряет своей актуальности.

Цель настоящей работы – визуализация образования и отрыв вихрей с поверхности деформирующейся капли, всплывающей в вязкой среде.

Экспериментальная часть. Проведя ряд экспериментов по запуску газовых пузырей в покоящейся жидкости одного размера, было обнаружено, что в начале движения пузыри ведут себя одинаково – всплывают по прямолинейной траектории. Однако наступает момент, когда их траектории отклоняются от прямолинейных, и происходит это практически на одинаковом расстоянии от инжектора (рис. 1). В связи с этим экспериментальным фактом появился интерес к визуализации потоков вокруг газового пузыря в момент его отклонения от прямолинейной траектории.

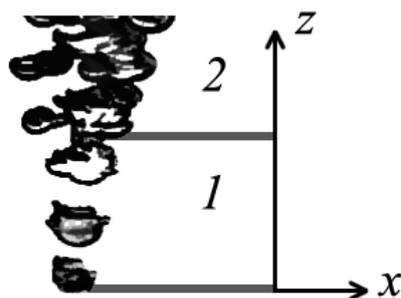


Рис. 1. Наложение 15 экспериментов всплытия пузыря одного размера ($d = (6, 2 \pm 0,6)$ мм): 1. Область траекторий, где пузырь всплывает прямолинейно; 2. Область, где пузыри отклоняются от прямолинейной траектории

Экспериментальная установка (рис. 2) представляет собой кювету размером $200 \times 200 \times 200$ мм³, заполненной дистиллированной водой. В настоящем эксперименте запускался не газ, а суспензия, основной жидкостью которой являлось растительное масло, а в роли взвешенных частиц выступали частички красителя Радомина Б. Изменение запускаемого вещества не влияет на качественную картину результатов – капля масла так же подвержена деформациям формы при дрейфе и её траектория отклоняется от прямолинейной. Запуск капель производился с помощью пускового устройства, установленного на центр дна кюветы. Область всплытия капли вырезалась лазерным ножом с длиной волны $\lambda = 532$ нм. Положение ножа варьировалось. Съёмка производилась на высокоскоростную камеру с частотой от 100 до 200 Гц.

На экспериментальных снимках наблюдалось сечение вихрей.

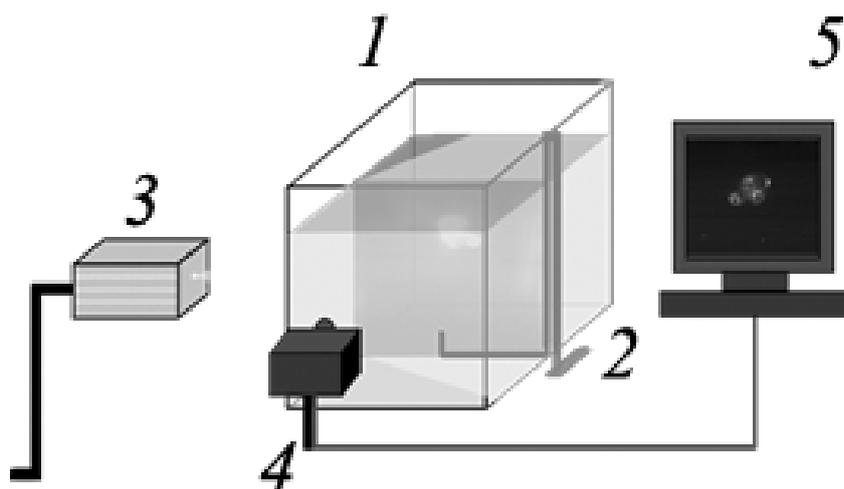


Рис. 2. Экспериментальная установка: 1. Кювета размером $200 \times 200 \times 200$ мм³, заполненная дистиллированной водой; 2. Высокоскоростная камера; 3. Лазерный нож; 4. Пусковое устройство; 5. Компьютер

Результаты. Было произведено несколько экспериментов с разным положением лазерного ножа. При установке ножа вдоль плоскости всплытия, удалось наблюдать момент образования и момент отрыва вихря (рис. 3, а, г). Оказалось, что время наступления неустойчивости вихря и время отклонения траектории капли от прямолинейной – совпадают (рис. 3, в).

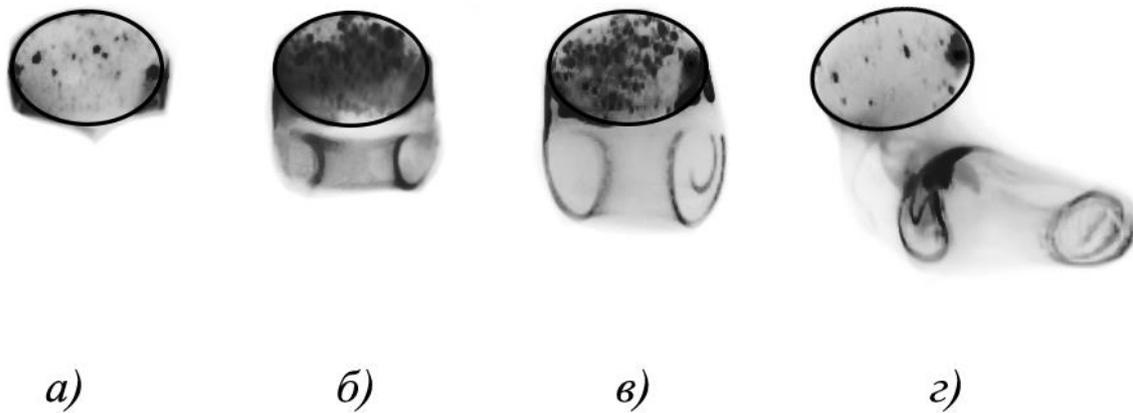


Рис. 3. Визуализация вихря во время дрейфа капли: а) момент образования вихря; б) устойчивое состояние вихря; в) наступление неустойчивости вихря (справа); г) отрыв вихря с поверхности капли

При установлении лазерного ножа перпендикулярно плоскости всплытия капли, стало возможным наблюдение сечения тороидальных вихрей (рис. 4)

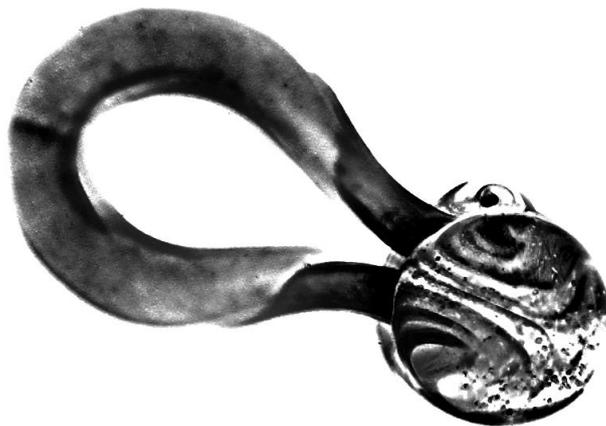


Рис. 4. Визуализация сечения вихря во время дрейфа капли в момент её прохождения через лазерный нож

Список литературы

1. Grace J. R. Shapes and velocities of bubbles rising in infinite liquids // Trans. Inst. Chem. Eng. 1973. Т. 51, N. 2. P. 116–120.
2. Bhaga D., Weber M. E. Bubbles in viscous liquids: shapes, wakes and velocities // Journal of Fluid Mechanics. 1981. Т. 105. P. 61–85.