

## 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.

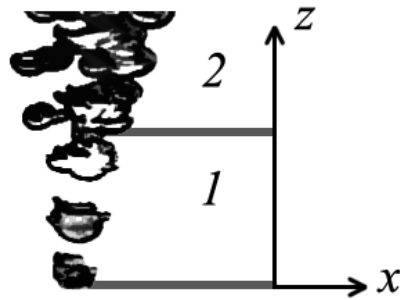
Одними из первых, кто серьёзно задался вопросом о поведении пузырей газа в жидкости задалась авторы работы [1]. Ими было выведено известное графическое соотношение по форме и средних скоростей одного всплывающего пузыря в покоящейся жидкости. Эти зависимости показали, что два безразмерных числа, число 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.

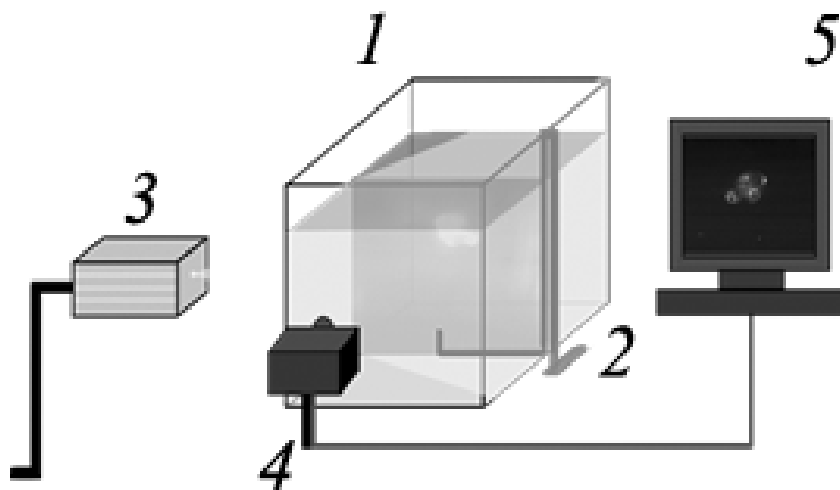
**Экспериментальная часть.** Проведя ряд экспериментов по запуску газовых пузырей в покоящейся жидкости одного размера, было обнаружено, что в начале движения пузыри ведут себя одинаково – всплывают по прямолинейной траектории. Однако наступает момент, когда их траектории отклоняются от прямолинейных, 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

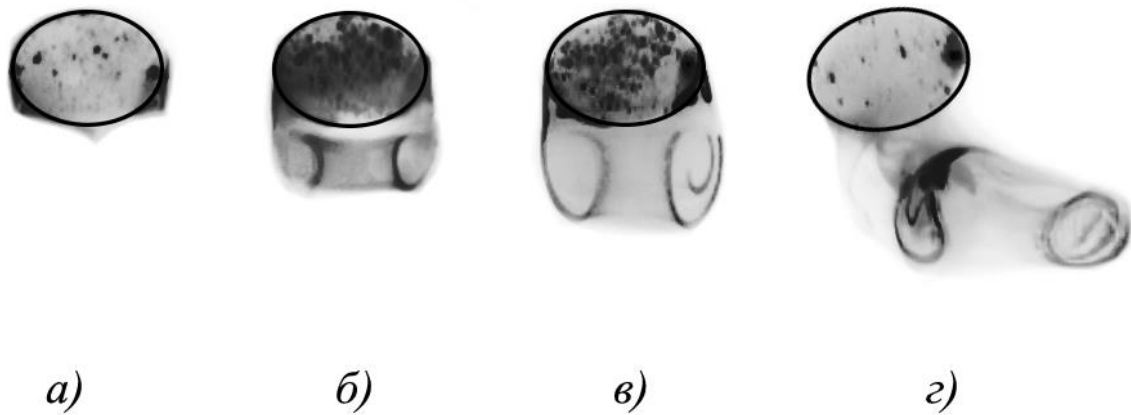
Экспериментальная установка (рис. 2) представляет собой кювету размером  $200 \times 200 \times 200$  мм<sup>3</sup>, заполненной дистиллированной водой. В настоящем эксперименте запускался не газ, а суспензия, основной жидкостью которой являлось растительное масло, а в роли взвешенных частиц выступали 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.



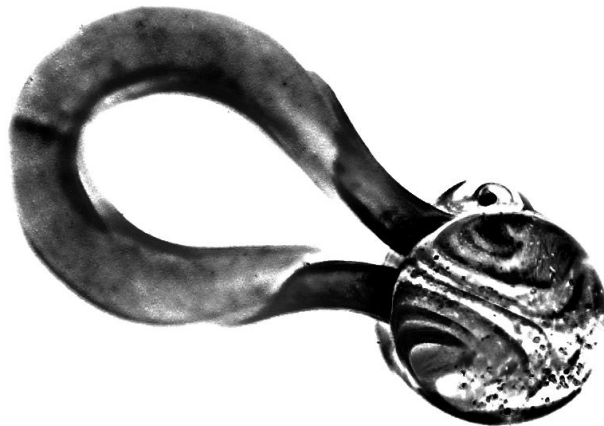
**Рис. 2.** Экспериментальная установка: 1. Кювета размером  $200 \times 200 \times 200$  мм<sup>3</sup>, заполненная дистиллированной водой; 2. Высокоскоростная камера; 3. Лазерный нож; 4. Пусковое устройство; 5. Компьютер

**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.