

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ДРЕЙФА ТЕЛ В ЖИДКОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА PIV

К.А. РЫБКИН, Р.С. ЮДИН

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

Работа посвящена экспериментальному исследованию свободного дрейфа сферических тел в жидкостях при числах Рейнольдса больше критических. Основное внимание уделено проблеме взаимосвязи обнаруженных диссипативных структур и турбулентности. Данную проблематику относят к физике неравновесных процессов, изучение которых в открытых физических системах является одной из важнейших задач естествознания и определяется логикой развития самих естественных наук [1,2].

В ходе экспериментов изучалось свободное движение твёрдых сферических капсул в стеклянной кювете  $100 \times 25 \times 25$  см<sup>3</sup>, заполненной дистиллированной водой. Для наблюдения положения капсул одновременно в двух плоскостях  $xz$  и  $yz$  лабораторной системы координат  $(x, y, z)$ , связанной с кюветой, с боку было установлено зеркало под углом в  $45^\circ$  к вертикальной плоскости кюветы. Экспериментальными объектами служили шары и эллипсоиды. Процессы всплывания шаров фиксировались на скоростную видеокамеру по методике, описанной в [3].

В ходе работы было проделано несколько экспериментов:

Первыми были выполнены эксперименты по дрейфу шара, с прорисованной линией экватора, в воде. Поворот линии означает наличие вращения шара, вызванного периодически отрывающимися вихрями с его поверхности [4]. Для визуализаций вихрей были получены снимки с помощью метода PIV. На рис. 1а представлены фотографии до обработки с помощью метода PIV, на рис. 1б после. Длина вектора соответствует скорости визуализирующей частицы в вихре. Максимальная длина вектора рис. 1б соответствует скорости  $1,2 \cdot 10^{-2}$  м/с.

Следующими были проделаны эксперименты по изучению поведения капсул эллипсоидальной формы, изготовленных на 3D принтере.

Параметры тел представлены в таблице 1.

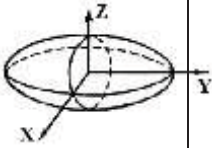
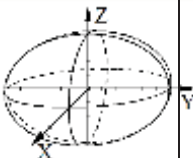
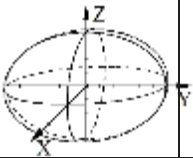
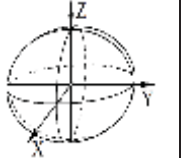
В ходе выполнения работы были получены следующие результаты:

Рис. 2 иллюстрирует три объединенных эксперимента для каждого эллипсоида. Видно, что траектории похожи, это означает, что процесс статистически устойчив – значит достаточно небольшого количества экспе-

риментов для установления закономерностей процесса.

Было установлено, что форма эллипсоидов сильно влияет на скорость (таблица 1) и траекторию дрейфа, у эллипсоида, длины осей которого близки к диаметру шара, отклонения от горизонтали максимальны по сравнению с другими эллипсоидами, траектория движения такого эллипсоида больше всего напоминает траекторию шара. Обтекание более вытянутых эллипсоидов кажется, чуть ли не ламинарным т.к. эллипсоид всплывает почти вертикально.

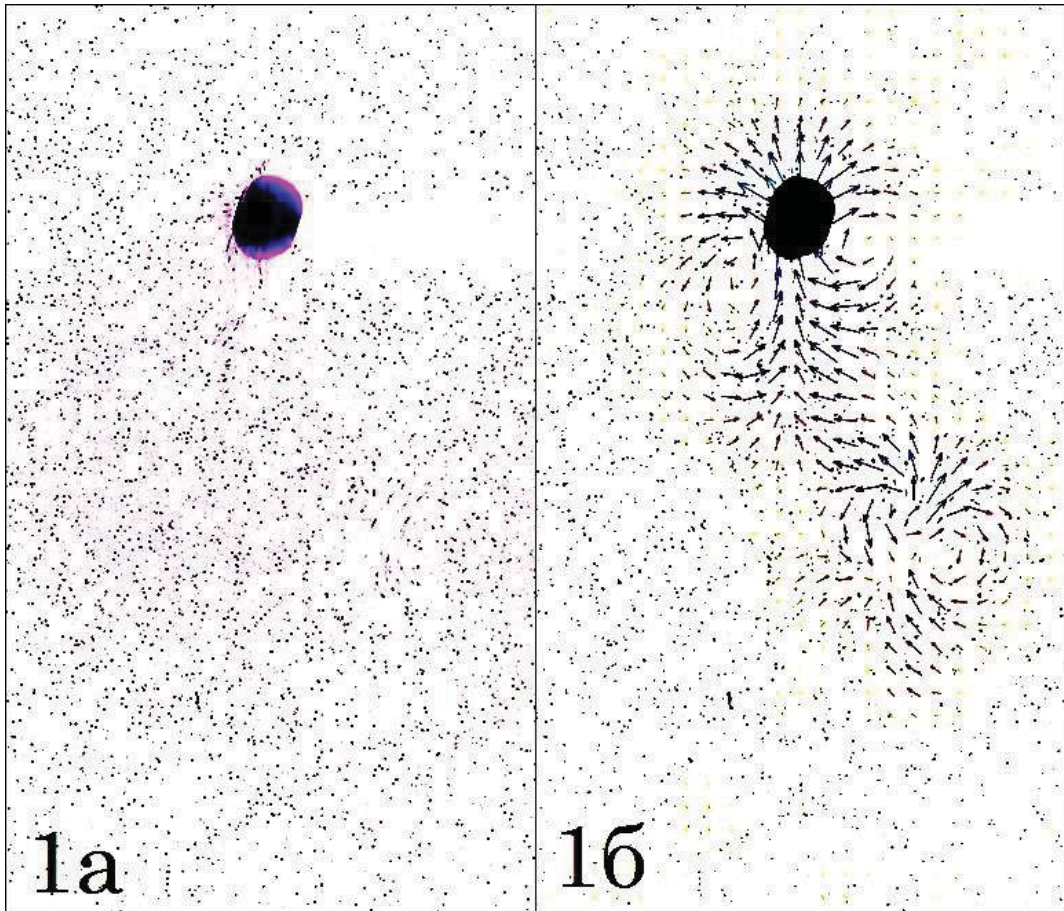
**Таблица. Геометрические характеристики тел**

Форма эллипсоида	X, mm	Y, mm	Z, mm	M, г	V, см/с
	14,34 ± 0,05	40,02 ± 0,03	14,34 ± 0,05	3,567	17,7
	17,39 ± 0,05	28,79 ± 0,03	17,39 ± 0,05	2,998	27,2
	20,29 ± 0,04	34,05 ± 0,04	12,44 ± 0,01	3,156	17,9
	20,41 ± 0,22	20,41 ± 0,22	20,41 ± 0,22	2,713	35,6

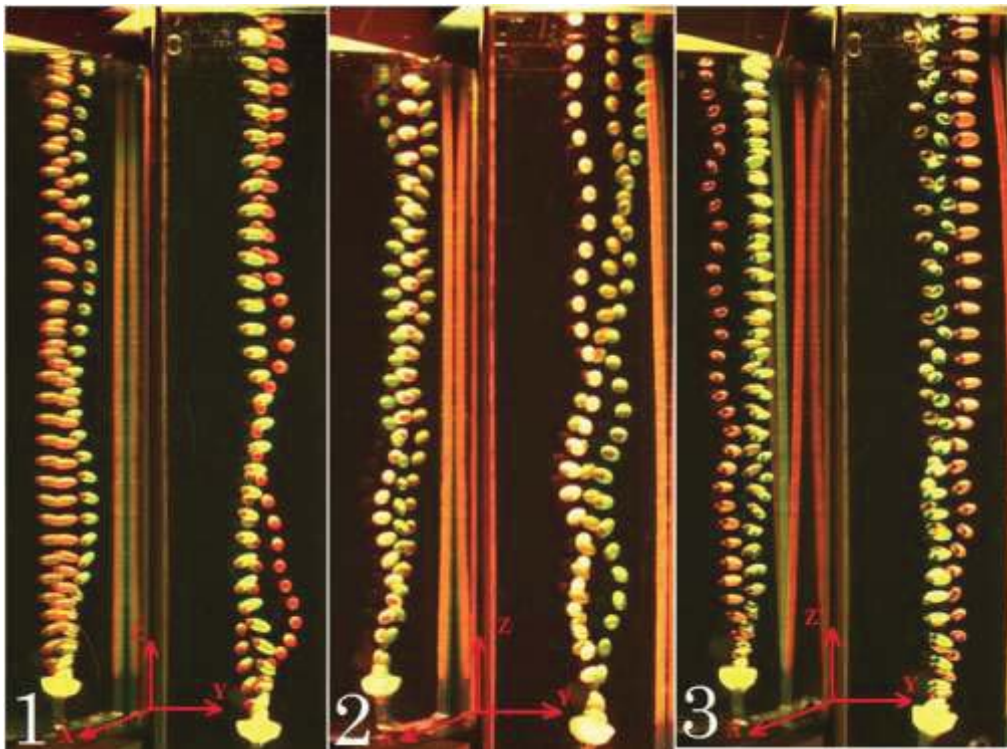
Было замечено, что эллипсоиды при всплытии, ведут себя подобно диску Рэлея, т.е. стремятся развернуться к потоку широкой, менее обтекаемой, гранью.

Также были построены графики зависимости средней скорости вихрей по модулю от номера кадра (рис. 3). Подъем графика, ( $10 < N < 40$ ) связан с появлением объекта в области съёмки, кадры 40 – 50 соответствуют максимальной интенсивности вихрей, на кадрах 50 – 100 видно затухание вихрей. Также из графиков видно, что интенсивность вихрей напрямую зависит от скорости всплытия объекта. Чем меньше скорость всплытия эллипсоидов, тем больше вихрей возникает в области съёмки.

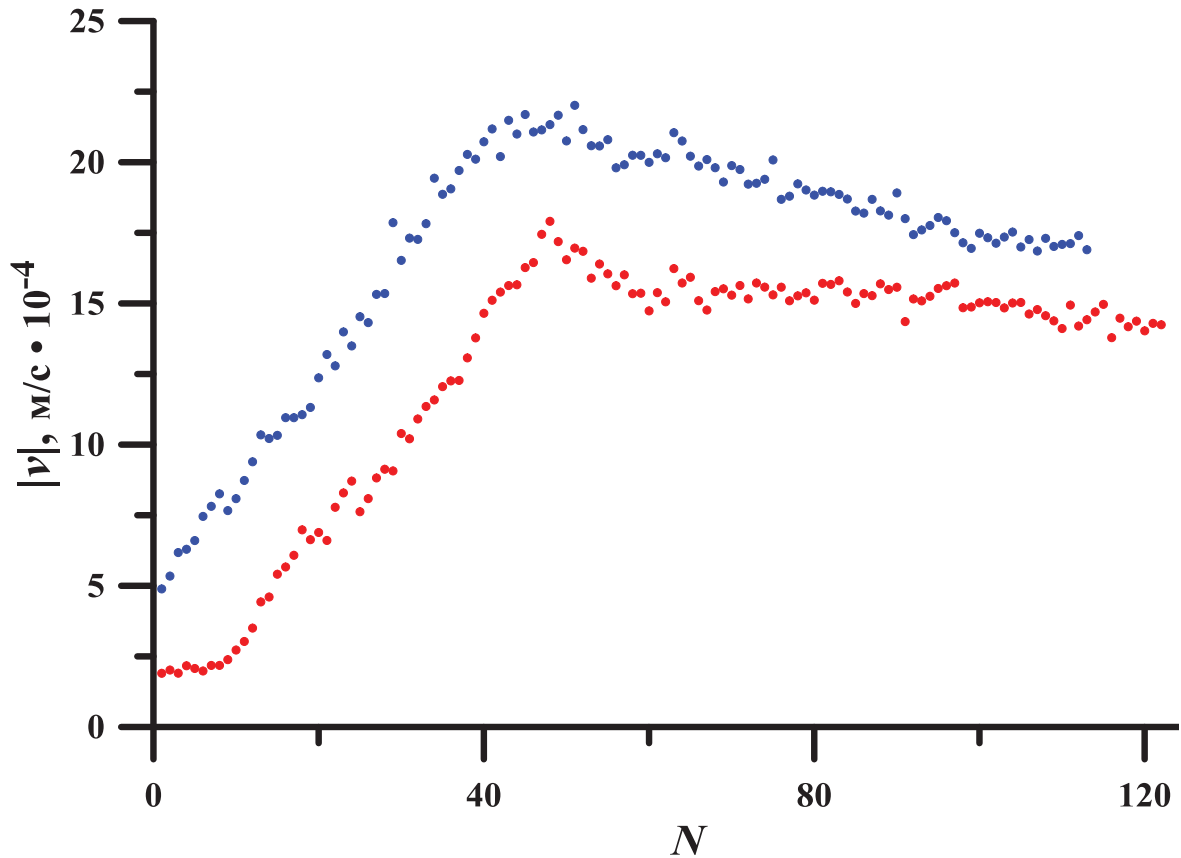
Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 12-01-31024).



**Рис. 1.** Иллюстрация всплытие шара до обработки с помощью метода PIV



**Рис. 2.** Последовательные изображения эллипсоидов с интервалом для 1 и 3 случая 0,15 с., 2 – для случая 0,1 с



**Рис. 3.** Графики зависимости средней скорости вихрей по модулю от номера кадра для двухосного эллипсоида (синие точки) и шарика (красные точки)

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рабинович М.И., Суцук М.М. Регулярная и хаотическая динамика структур в течениях жидкости//УФН. 1990. Т.160, №1. С.1–64.
2. Скоков В.Н., Селезнёв В.В. Введение в физику неравновесных процессов. Екатеринбург. УГТИ – УПИ. 2008. 232 с.
3. Братухин Ю.К., Макарихин И.Ю., Макаров С.О., Рыбкин К.А. Гравитационный дрейф эллипсоидов в вязкой жидкости // Изв. РАН. МЖГ. 2011. № 5. С. 52–64.
4. Рыбкин К.А., Юдин Р.С. Хаотическая динамика дрейфа сферических тел в вязкой жидкости. Тезисы докладов Всероссийской конференции молодых учёных «НПСС-2012» г. Пермь, 2012. С. 85.