

Секция: “Физика и астрономия”

Средняя школа №564 (ЛНМО), г.Санкт-Петербург  
190005, г.Санкт-Петербург, ул. Егорова, 24  
тел.: (812) 710-14-75; E-mail: School564@spb.edu.ru

### **Неустойчивость ламинарного вихревого кольца**

**Митрохин Антон Вадимович**

Класс: 11

192241, г.Санкт-Петербург, ул.Турку, д.28, корпус 3, кв.69  
тел.: (812)268-71-25; E-mail: anton.ncos@gmail.com

Научный руководитель: Полицук Геннадий Иванович - кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики Лесотехнической Академии им. С. М. Кирова, преподаватель ЛНМО высшей категории.

В работе теоретически и экспериментально изучен процесс движения и последующего распада ламинарного вихревого кольца ([6] *Альбом течений жидкости и газа, стр.68*) в жидкой среде при низких числах Рейнольдса. На основе полученных данных и построенной математической модели была оценена длина волны возникающих на кольце возмущений и число капель, образующихся после распада кольца.

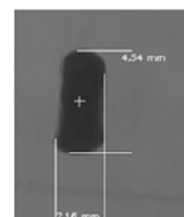
Для изучения поведения вихря была создана экспериментальная установка, позволяющая проводить съёмку вихревого кольца на камеру. Установка состоит из стеклянной камеры, в которой собственно и



На рис.1 – кольцо, распавшееся на шесть капель.

проводится эксперимент, и капельницы, которая создаёт капли заданного размера и падающие с заданной частотой. Стеклянная камера имеет форму параллелепипеда размером 75x75x150 мм и выполнена из плоских кусков стекла, чтобы не вносить искажений при фотосъёмке. Капельница представляет из себя тонкую полую иголку, из которой торчит проволочка. Проволочка на конце свёрнута в петельку. Жидкость, (использованы чернила для принтера, “Йодиол”, клей “ПВА” и нек. другие) стекая по проволочке, собиралась на петельке. Соответственно, чем больше была площадь петельки, тем большего размера каплю можно было получить. Регулируя площадь петельки можно было варьировать размеры капель в некотором диапазоне. Скорость входа исследуемой капли в жидкость регулируется высотой капельницы.

Съёмка проводилась с помощью камеры, способной снимать видео со скоростью 1000 кадров в секунду - такая скорость оказалась необходимой для регистрации незначительных деформаций и нарастания амплитуды колебаний на ранних стадиях распада кольца. В связи с большим количеством данных и необходимостью составления статистики по изменению геометрических размеров кольца во времени, была написана специальная компьютерная программа,

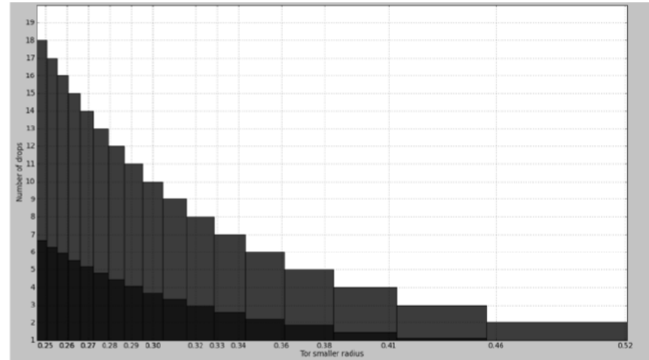


На рис.2 – пример работы программы (кольцо, вид сбоку)

позволяющая анализировать видео ряд, производимый камерой и автоматически проводить замеры кольца, заноса данные в отдельный файл. Данные также визуализировались на экране. Для написания программы использовался язык “Python” и библиотека компьютерного зрения “OpenCV”.

В результате исследования было выдвинуто две гипотезы распада кольца:

“Энергетическая”, где причиной распада понимается энергетическая выгода этого процесса, и “Волновая”, где рассматриваются изначально присутствующие малые колебания, амплитуда которых со временем увеличивается, что и приводит к распаду. В конечном итоге, при малой вязкости и небольшом коэффициенте поверхностного



натяжения границы раздела жидкостей (йодиол, чернила) с практикой больше согласуется “Волновая” теория, в то время как жидкости вроде глицерина и клея ПВА распадаются по “Энергетической” схеме. На графике выше показана зависимость количества капель от возможной толщины кольца при распаде. Тёмным и светлым выделены предсказания “Энергетической” и “Волновой” теории соответственно.

Данная задача была выбрана для исследования, так как она является актуальной, особенно в области аэрокосмической промышленности. В частности, при постройке реактивных двигателей, чрезвычайно важную роль играет скорость смешения горючего с окислителем. Так как форсунка такого двигателя по сути является той же капельницей, в камере сгорания образуются рассмотренные выше вихри, и чем на большее количество капель они распадутся, тем больше будет суммарная площадь поверхности всех капель, а значит – и скорость испарения топлива будет выше. разработанная математическая модель возможно поможет оптимизировать параметры форсунок реактивных двигателей и сделать процесс сгорания эффективнее.

#### Литература:

1. Майер В. В. *Простые опыты со струями и звуком* (М.: Наука, 1985)
2. Милн-Томсон Л. М. *Теоретическая Гидродинамика* (М.: Мир, 1964)
3. Бэтчелор Дж. *Введение в динамику жидкости* (М.: Мир, 1973)
4. Волынский М. С. *Необыкновенная жизнь обыкновенной капли* (М.: Знание, 1986)
5. Бетяев С.К. *Гидродинамика: проблемы и парадоксы* (1995)
6. Ван-Дайк М. *Альбом течений жидкости и газа* (М.: Мир, 1987)
7. Фихтенгольц Г.М. *Основы математического анализа* (М.: Наука, 1968)
8. Флетчер К. *Вычислительные методы в динамике жидкостей* (М.: Мир, 1991)
9. Laganière R. *OpenCV 2 Computer Vision Application Programming Cookbook*