

Краевая научно-практическая конференция
учебно-исследовательских работ учащихся 6-11 классов
«Прикладные и фундаментальные вопросы математики и физики»

Экспериментальная физика

Исследование столкновения двух одинаковых струй воды

Жеребцов Вячеслав Александрович и Руга Александр Сергеевич

11 кл., МБОУ "Лицей №1", г. Перми,

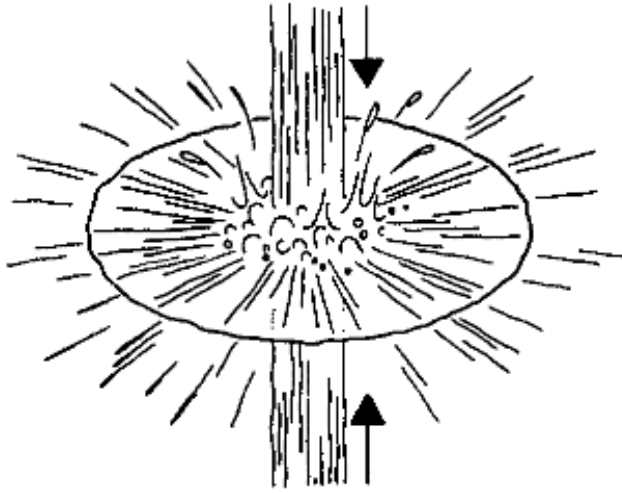
Имакаев Виктор Раульевич

Доктор философских наук

Пермь. 2018.

1.Введение

Темой нашей учебно-исследовательской работы является исследование столкновения двух одинаковых струй воды.



В книге Дж. Уокера «Физический фейерверк» сказано, что если направить навстречу друг другу две одинаковые струи воды, то возникают красивые тонкие водяные пленки (рис. 1)

Рис.1

Нашей главной целью является экспериментальное исследование этого интересного явления.

Задачи исследования:

1. Создать экспериментальную установку.
2. Добиться того, чтобы эффект был воспроизводим.
3. Определить экспериментальную зависимость «радиуса разрыва» пленки от скорости течения.
4. Исследовать, при какой толщине пленка рвется, определить зависимость толщины от скорости потока.

2. Экспериментальное исследование образования водяных плёнок

2.1 Экспериментальная установка

Для начала нам нужно было получить эти самые водяные пленки. Для этого мы взяли два шланга с одинаковыми сечениями(1,5 см \pm 0,05 см) и начали проверять, что получится, если сталкивать две струи воды. Сначала у нас не было шлангов с одинаковым сечением, поэтому пленки получались «кривые» (рис. 2) . Для исправления этого дефекта эксперимента мы обрезали конец у меньшего шланга и вставили в большой, закрепив его хомутом.





Рис.2

Рис.3



В ходе наших экспериментов, мы встречались с такой проблемой, что сложно было менять диаметр шлангов и скорости потоков, поэтому мы пытались проводить тот же эксперимент, но пользуясь насадками для шлангов, чтобы поменять диаметры, но с помощью насадок очень трудно было получить ламинарное течение при больших скоростях потока воды. Так что это можно считать как неудавшийся эксперимент, хотя пленки получались, но выглядело это совсем неэффектно.

Рис.4

Мы получили нужные нам пленки, но для полного эффекта нам не хватало одинаковых скоростей потоков. Чтобы получить одинаковые скорости потоков, мы взяли литровую ёмкость и начали, наливая в емкость воду, считать объёмный расход воды K (рис 3). Меняя напор в обоих кранах, мы добились того, что в обоих потоках получились равные K , и, следовательно, равные скорости потоков.

$K=v/t(\text{м}^3/\text{с})$ -объемный расход воды

$$K=0,001/4,7=0,00021(\text{м}^3/\text{с})$$



Затем главной задачей было получить стабильные (постоянные) водяные пленки и для этого мы соорудили из подручных средств установку, закрепили наши шланги и засняли на видео получившиеся эффекты и явления. Фотография установки приведена на рис. 4, схема – на рис 5.

h

Рис.5

Для фиксации нашего процесса мы снимали все на видео. Для этого мы использовали наши телефоны(Apple Iphone 7), которые снимают в

разрешении 1080p и 60 кадров в секунду с разных ракурсов на дневном свету.

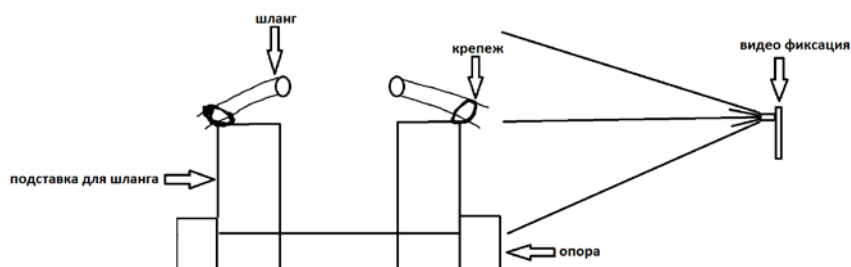


Рис.6

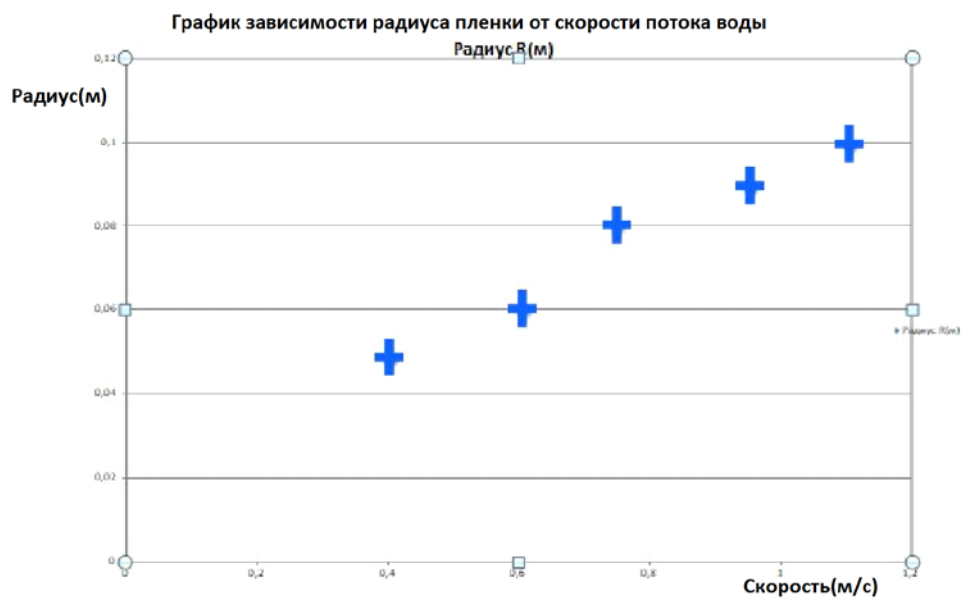
2.2 Определение среднего радиуса пленки

Следующей нашей задачей было посчитать средний диаметр получаемых плёнок. Взяв линейку и камеру телефона, мы подставляли линейку к нашей пленке максимально близко и снимали это. Дальше брали видео и делали скриншоты, где видно нашу пленку и рядом находящуюся линейку. Заходили в фото редактор и строили радиусы, которые измеряли по линейке и находили средний диаметр по формуле среднего арифметического (рис 7).



Рис.7

Мы заметили, что при прочих равных условиях, если менять скорость, то и радиус будет меняться и посчитали средний радиус для 5 скоростей. Это натолкнуло нас на мысль построить график зависимости среднего радиуса от скорости и по нему видно, что с увеличением скорости радиус пленки увеличивается.



Радиус	скорость
R(м)	V(м/с)
0,1	1,1
0,09	0,95
0,08	0,75
0,06	0,6
0,05	0,40

График.1

Табл.1

2.3 Толщина, при которой пленка разрывается

Следующее, что нас заинтересовало, это толщина при которой наша водяная пленка начинает рваться.

$$\rho \frac{v^2}{2} + \rho g h + p = \text{const}$$

$$v_1 = v_2$$

$$S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2$$

$$S_1 = 2S$$

$$S_2 = 2prh$$

$$h = s/pr$$

Поэтому мы решили посчитать эту толщину.

Для этого мы использовали 2 формулы- уравнение Бернулли и уравнение неразрывности. Из формулы Бернулли мы доказали, что скорости частиц воды одинаковы у обеих струй даже после столкновения, потому что плотности равны, высоты также равны, давление атмосферное, а ускорением свободного падения мы пренебрегаем, потому что скорость частичек ,движущихся вверх уменьшается, скорость частичек, движущихся вниз увеличивается . Затем, пользуясь уравнением неразрывности мы видим, что объём поступившей воды, равен объёму вышедшей воды - отсюда равенство площадей и получение формулы для толщины. Также сделали таблицу со всеми измерениями и график зависимости толщины, при которой рвется пленка, от скорости потока воды.

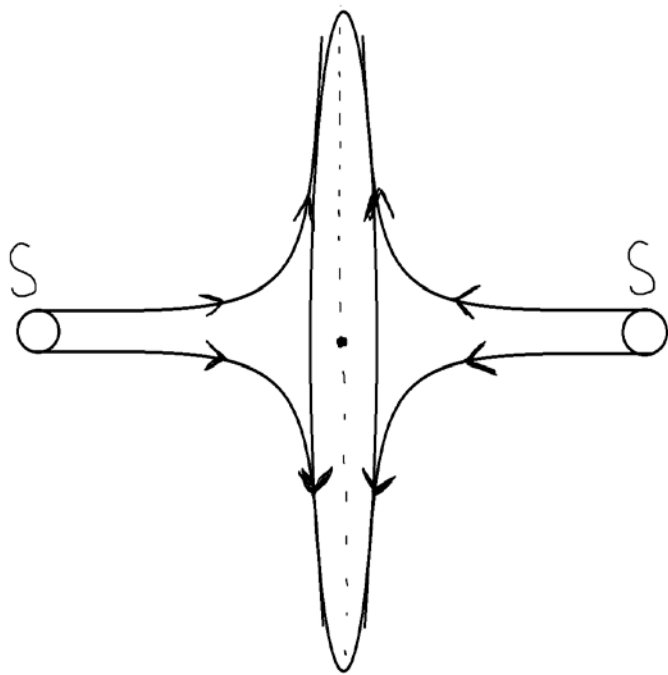


Рис.8

Рис.9

Номер	Площадь сеч.	об.расход	скорость	диаметр	Длина окружности	Толщина
i	$S(m^2)$	$K(m^3/c)$	$V(m/c)$	$D(m)$	$P(m)$	$H(m)$
1	0,0002	0,00021	1,1	0,20	0,628	0,00016
2	0,0002	0,00019	0,95	0,18	0,5652	0,00018
3	0,0002	0,00015	0,75	0,16	0,5024	0,00020
4	0,0002	0,00012	0,6	0,12	0,3768	0,00027
5	0,0002	0,00008	0,40	0,10	0,314	0,00032

Мы провели все измерения и занесли их в таблицы.

Табл.2



И нам

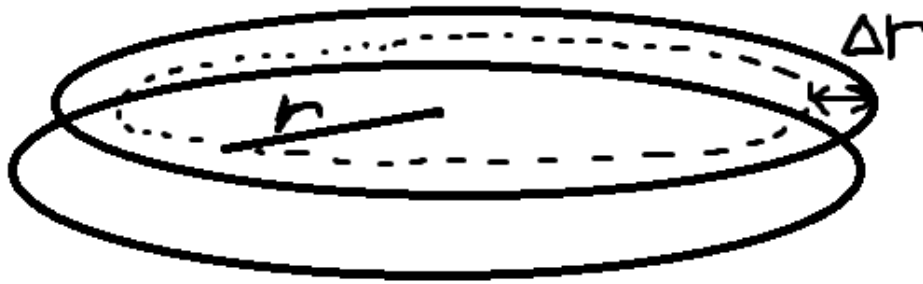
стало интересно, как зависит толщина наших пленок от скорости потока воды пленки. Для этого построили график, на котором наглядно видно, что с увеличением скорости уменьшается «толщина разрыва» пленки.

График.2

3. Поверхностное натяжение

Как указывается в книге Уокера, поверхностное натяжение воды имеет непосредственное влияние на водяные пленки (их форму, момент разрыва).

« Разрыв водяного диска происходит, когда образующиеся в нем под действием поверхностного натяжения маленькие отверстия увеличиваются»



Тогда нам пришла идею выдвинуть такую гипотезу, связанную с моментом разрыва, что когда пленка рвется, то энергия поверхностного натяжения становится примерно равной кинетической энергии молекул воды.

Рис.10

Рассмотрим часть воды в пленке, заключенную между радиусами r и $r + \Delta r$. Энергия поверхностного натяжения равна

$$W_{\text{п.н}} = 2 * 2\pi r * \Delta r * \delta$$

Кинетическая энергия равна

$$W_{\text{к.м}} = mv^2/2$$

Приравниваем эти две формулы и получаем:

$$\delta = (\rho * H/2) * v^2$$

Мы нашли, $H=s/\Pi r$ (рис.8), подставляем в полученную формулу и выражаем радиус разрыва пленки:

$$r(v) = s * \rho * v^2 / 4 * \delta * \Pi$$

Посчитаем теоретический радиус по всем значениям скорости, которые были приведены в таблице (Табл.2), и построим график

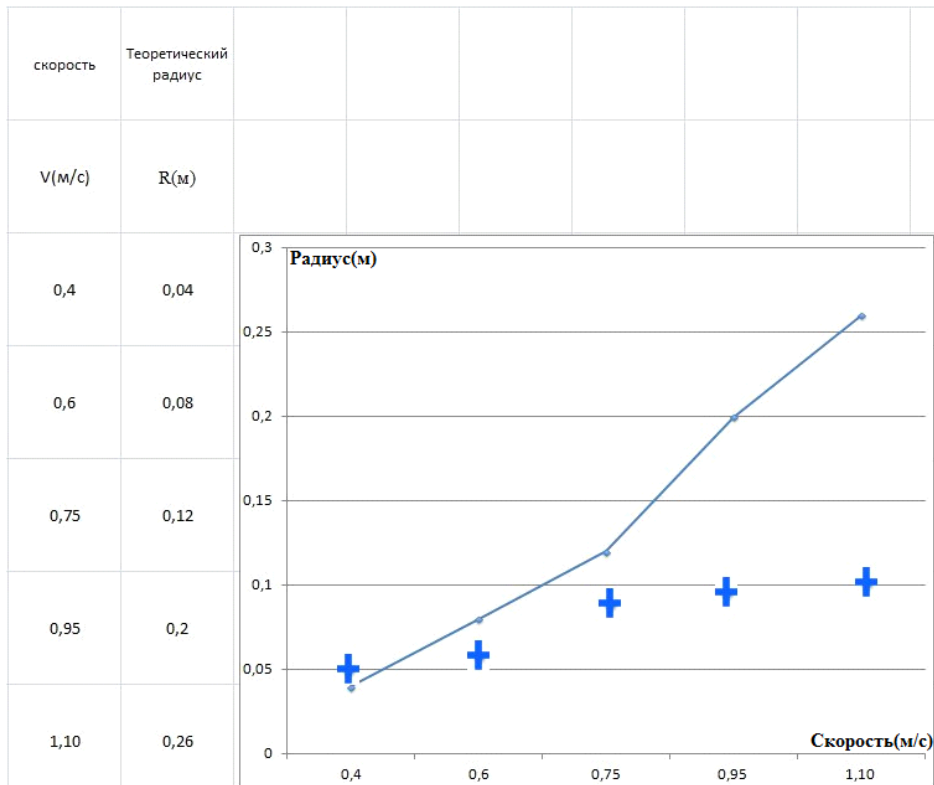


График.3

Сплошной график отображает теоретические полученные данные, а крестики это полученные экспериментальные значения.

Сравним экспериментальный и теоретический графики. При сравнении показателей видно, что получившиеся значения одного порядка и погрешность невысока.

4.Выводы

Итак, мы смогли создать условия для эксперимента, а также его провести, соорудили установку, которая позволяла нам легко наблюдать за поведением пленок, посчитали средний радиус пленок, построили графики, таблицу всех измерений, по которой можно строить зависимости, далее посчитали теоретические показания и сравнили их с экспериментальными, и сделали выводы.

Список используемой литературы

- Уокер Дж. Физический фейерверк (1988)
- Г.Я. Мякишева учебник физики за 10 класс
- Г.Я. Мякишева учебник физики за 11 класс