

В задаче не требуется оценка погрешностей!

Теоретическое введение

Рассмотрим цепочку длиной L , лежащую в чашке Петри на высоте h над полом. Один из концов цепочки опущен до пола, а остальная часть цепочки придерживается в чашке. Затем цепочку отпускают, и она начинает «вытекать» на пол. Во время вытекания часть звеньев цепи оказывается выше чашки Петри, такое явление часто называют «цепной фонтан».

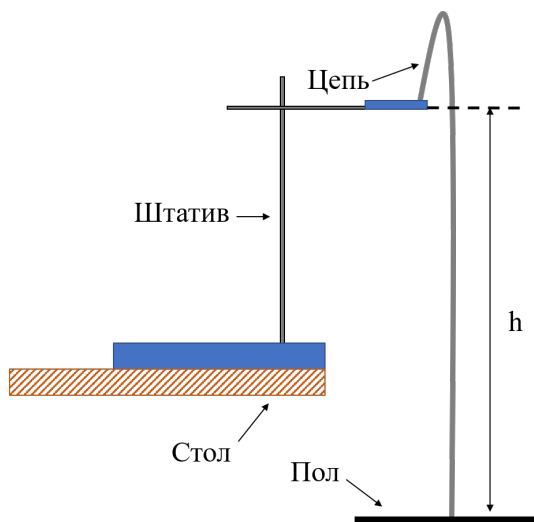


Рис. 1. «Цепной фонтан».

Если цепочка достаточно длинная, то через некоторое время скорость её звеньев становится постоянной. Зависимость скорости «вытекания» цепочки от высоты h можно описать одной из следующих моделей:

Первая модель

В случае, если отрыв звена цепочки от ее части, лежащей в чашке Петри, является неупругим процессом, связь скорости и высоты «вытекания» выглядит следующим образом:

$$v = \sqrt{gh}, \quad (1)$$

Вторая модель

Если же считать отрыв звена цепочки абсолютно упругим, то связь будет такой:

$$v = \sqrt{2gh}, \quad (2)$$

Внимание! Аккуратно укладывайте цепочку в чашку Петри! Спутанность цепочки существенно влияет на результаты измерений!

Задание

1. Установите штатив на край стола. Поместите цепочку в чашку Петри, зафиксированную в лапке штатива на высоте 100 см от поверхности пола. Придерживая цепочку, свесьте один из концов так, чтобы он доставал до пола. Измерьте зависимость времени полного «вытекания» цепочки из чашки Петри от длины цепочки. Для изменения длины соединяйте последовательно несколько цепочек длиной по 3 метра. Постройте график измеренной зависимости. Определите, при какой минимальной длине L_{min} из исследованных, звенья цепочки успевают достигнуть установившейся скорости.
2. Для 5-7 различных высот положения чашки Петри над полом определите установившуюся скорость «вытекания» цепочки. При измерениях считайте, что измеренная в предыдущем пункте длина L_{min} достаточна для установления постоянной скорости «вытекания» цепочки с любой из высот. Постройте график исследованной зависимости в координатах, в которых он будет линейным. Определите коэффициент наклона графика.
3. Исходя из результатов предыдущего пункта, определите характер отрыва звена цепи. Выберите модель из теоретического введения, наилучшим образом описывающую явление.

Оборудование 4 шариковые цепи длиной по 3 метра и соединителем на конце, рулетка, секундомер, штатив, чашка Петри, баночка с крышкой для хранения шариковых цепей, линейка 30 см для построения графиков.

Убедительная просьба, в конце работы сложите все шариковые цепи в баночку для хранения!

Решение

Для измерения зависимости времени «вытекания» цепи от ее длины, установим штатив на стол, закрепим чашку Петри в лапке на высоте $h = 100$ см от пола. Для увеличения точности измерим время вытекания для каждой длины цепочки три раза и усредним. При вытекании цепочки, она может задевать край чашки Петри, что занижает полученные значения времен вытекания и увеличивает разброс получаемых значений. Наиболее удобный способ избежать этого эффекта - немного наклонить чашку. Результаты измерений занесем в таблицу:

$\tau_1, \text{с}$	$\tau_2, \text{с}$	$\tau_3, \text{с}$	$L, \text{м}$	$\tau_{\text{ср}}, \text{с}$
1.00	1.00	1.00	3.00	1.00
1.75	1.85	1.79	6.00	1.80
2.53	2.50	2.57	9.00	2.53
3.44	3.47	3.57	12.00	3.49

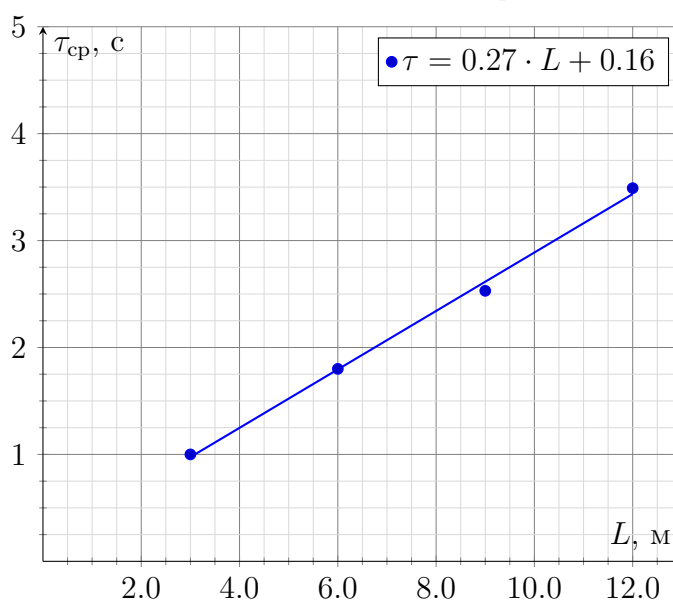
График зависимости $\tau_{\text{ср}}(L)$ 

График хорошо описывается линейной функцией с угловым коэффициентом $k = 0.27$ с/м. Исходя из линейности графика, можно сделать вывод о том, что длина цепочки, равная $L_{\text{min}} = 3$ м, достаточна для установления постоянной скорости движения звеньев во время падения. В соответствии с условием будем считать последнее утверждение верным для вытекания цепочки с любой из высот.

Чтобы найти установившуюся скорость, будем для каждой высоты h измерять не только время падения T цепи максимальной возможной длины $L_{\text{max}} = 12$ м, но и время падения t цепочки длиной 3 м. Измерение каждого из времен падения также будем проводить три раза. Будем вычислять установившуюся скорость движения звеньев цепи как:

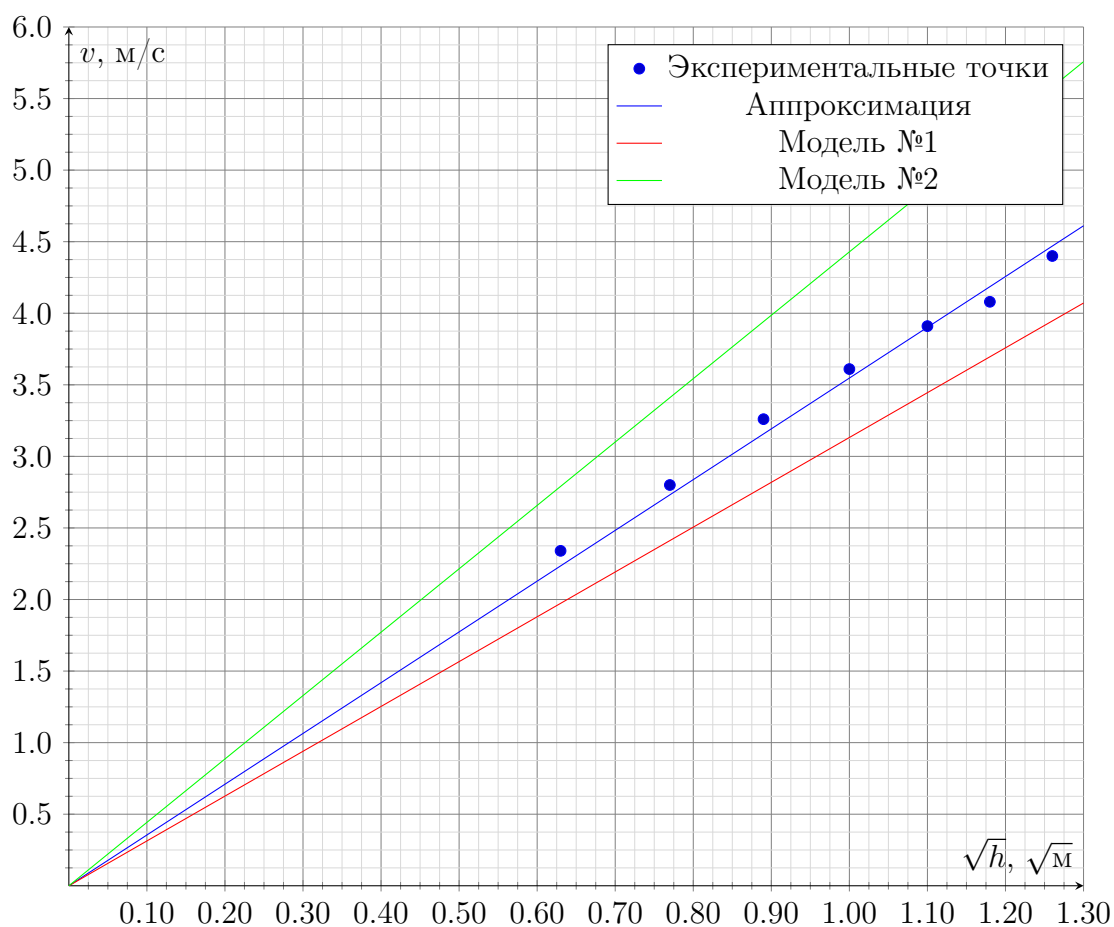
$$v = \frac{L_{\text{max}} - L_{\text{min}}}{T - t}. \quad (3)$$

Отметим, что для повышения точности следует увеличить диапазон выбора высот запуска. Так, например, можно поставить штатив на стул, который в свою очередь разместить на столе для получения больших высот размещения чашки. В результате получим следующие

данные:

h , см	T_1 , с	T_2 , с	T_3 , с	T_{cp} , с	t_1 , с	t_2 , с	t_3 , с	t_{cp} , с	$T_{\text{cp}} - t_{\text{cp}}$, с	v , м/с	\sqrt{h} , \sqrt{M}
40	5.38	5.37	5.31	5.35	1.53	1.53	1.44	1.50	3.85	2.34	0.63
60	4.53	4.33	4.45	4.44	1.18	1.25	1.24	1.22	3.21	2.80	0.77
80	3.91	3.84	3.70	3.82	1.06	1.08	1.03	1.06	2.76	3.26	0.89
100	3.44	3.47	3.57	3.49	1.00	1.00	1.00	1.00	2.49	3.61	1.00
120	3.28	3.25	3.18	3.24	0.91	0.97	0.93	0.94	2.30	3.91	1.10
140	3.00	2.88	3.00	2.96	0.81	0.78	0.68	0.76	2.20	4.08	1.18
160	2.72	2.65	2.72	2.70	0.65	0.69	0.62	0.65	2.04	4.40	1.26

Построим график зависимости найденной нами скорости от корня высоты установки чашки Петри над поверхностью пола $v(\sqrt{h})$.

График зависимости $v(\sqrt{h})$ 

Коэффициент наклона графика, проведенного из начала координат составляет $k = 3.6 \sqrt{M}/\text{с}$ и лежит между значениями коэффициентов, отвечающим первой и второй моделям. Таким образом ни одна из моделей, предложенных в условии, не выполняется.

Рекомендации для жюри

Все точки, измеренные студентами, представлены на графике ниже. Не задевая края чашки, цепочка может вытекать, начиная с высот ≈ 30 -40 см.

График зависимости $v(\sqrt{h})$

