

Условие

Задача 9-1. «Струя из бутылки»

Оценка погрешностей в данной задаче не требуется!

Во время теоретического тура вы рассчитывали параметры струи, вытекающей из маленького отверстия в боковой стенке бутылки. Сегодня вам предстоит проверить, насколько верны результаты теоретического описания.

Оборудование: Штатив с лапкой, пластиковая бутылка объемом 1,0 л с отверстием в боковой стенке, банка 1,0 л, линейка, секундомер с памятью этапов.

Задание 1. Закон движения уровня воды в бутылке.

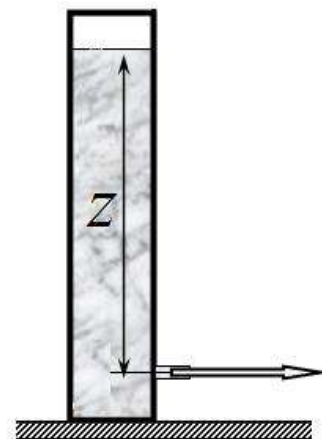
Закрепите бутылку за горлышко в лапке штатива. Под отверстием поместите банку для стока воды. Чтобы вода не попадала на стол, на пути струйки в банку вертикально поставьте линейку. Убедитесь, что на стенке бутылки прикреплена полоска миллиметровой бумаги, по которой можно проводить измерения высоты уровня воды.

Обязательно: высоту уровня воды z надо отмерять от отверстия!

1.1 Измерьте зависимость уровня воды в бутылке от времени $z(t)$. Постройте график полученной зависимости.

Для измерений используйте участок бутылки, на котором стенки гладкие (или слабо гофрированные) – достаточно провести измерения в интервале высот 8-10 см.

Для проведения измерений удобно использовать память этапов секундомера, фиксируя моменты времени, когда уровень воды изменяется на определенную величину (например, на 1 см). Если не умеете пользоваться таким режимом – обратитесь к организаторам за помощью!



Вспомните теоретическую задачу:

Если для скорости струи из отверстия справедлива формула Торричелли $v = \sqrt{2gh}$,

то зависимость высоты уровня воды от времени может быть описана функцией:

$$z = \frac{a}{2}(t - \tau)^2 \quad (1)$$

1.2 Используя полученные экспериментальные данные, покажите, что функция (1) правильно описывает закон изменения уровня воды в бутылке. Для этого постройте график в таких ко-

ординатах, чтобы получить линейную зависимость. Постройте график этой линеаризованной зависимости, определите численные значения параметров этой зависимости.

1.3 Укажите физический смысл параметров a и τ в формуле (1). Определите их численные значения для полученной вами зависимости.

Задание 2. Измерение длины струи.

Расположите линейку на банке так, чтобы можно было измерять горизонтальную длину струи. Линейка должна располагаться на 2 - 3 см ниже отверстия. Подберите такой диапазон изменения высоты уровня воды в бутылке, что бы струя попадала в банку.

2.1 Измерьте и укажите, на какой высоте вы измеряли длину струи. Укажите, в каком диапазоне высот уровня воды в бутылке вы проводили измерения.

2.2 Измерьте зависимость длины струи от времени. Постройте график полученной зависимости.

2.3 Предложите функцию, описывающую ваши экспериментальные данные (зависимость длины струи от времени $l(t)$), определите численные значения параметров вашей зависимости.

2.4 Качественно объясните вид зависимости длины струи от времени. (Оценка численных параметров в данном пункте не требуется – вы должны объяснить только вид зависимости).

Решение

****<u>Задача 9-1 «Струя из бутылки»**

Часть 1. Закон движения уровня воды в бутылке.</u>******

1.1 При вытекании уровень воды в бутылке изменялся от 10 до 2 см, проводились измерения моментов времени, когда уровень воды изменялся на 1 см. Результаты измерений приведены в Таблице 1: h - высота уровня воды над отверстием, t - время от начала выливания до момента, когда уровень воды равнялся h .

Таблица 1.

Номер этапа	Время		**t, с**	**h, см**	**$\sqrt{h}$**
	мин	сек			
0		0	0	9,5	3,08
1		21,03	21,03	8,5	2,92
2		43,93	43,93	7,5	2,74
3	1	4,24	64,24	6,5	2,55
4	1	33,07	93,07	5,5	2,35
5	2	0,16	120,16	4,5	2,12
6	2	32,42	152,42	3,5	1,87
7	3	21,35	201,35	2,5	1,58

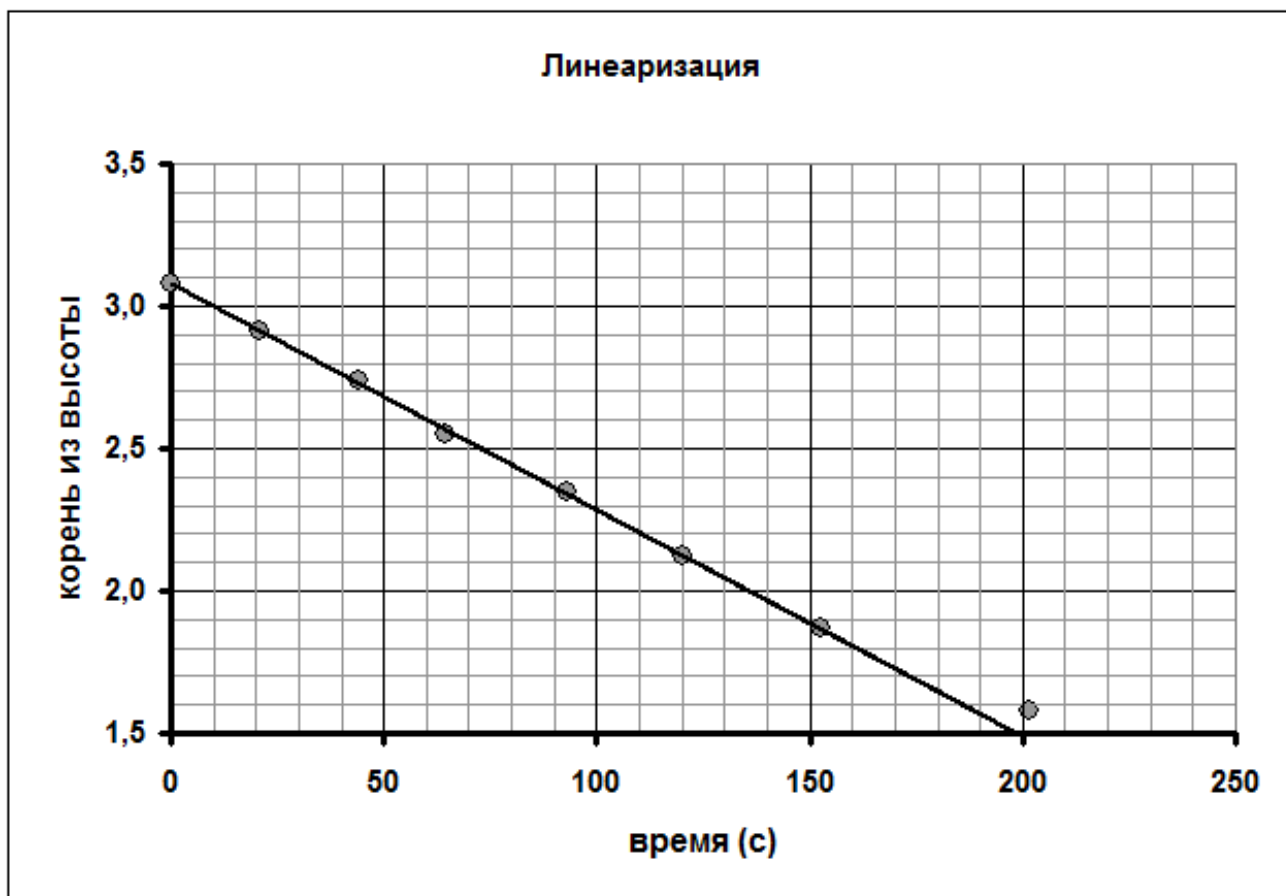
График зависимости высоты уровня воды от времени показан на рисунке.



1.2 Если приведенная формула правильно описывает зависимость $z(t)$, то зависимость корня из высоты от времени должна быть линейной

$$\sqrt{z} = \sqrt{\frac{a}{2}}(t - \tau) \quad (1)$$

На следующем рисунке показана эта линеаризованная зависимость.



Как следует из графика, полученная зависимость действительно является линейной. Что подтверждает применимость формулы (1). Незначительно от линейной зависимости отклоняется только последняя точка.

1.3 Из вида функции $z = \frac{a}{2}(t - \tau)^2$ следует, что движение уровня воды является равноускоренным. Тогда параметр a является ускорением, τ - полное время вытекания. По графику линеаризованной зависимости можно определить (например, графически) коэффициенты зависимости $\sqrt{z} = kt + b$:

Коэффициент наклона $k = -8,0 \cdot 10^{-3} \frac{\text{см}^{0,5}}{\text{с}}$;

Величина сдвига $b = 3,1 \text{ см}^{0,5}$.

По этим данным можно найти требуемые физические параметры закона движения:

- время вытекания $\tau = -\frac{b}{k} \approx 390 \text{ с}$.

- ускорение $a = 2k^2 \approx 1,3 \cdot 10^{-4} \frac{\text{см}}{\text{с}^2}$.

Часть 2. Измерение длины струи.

2.1 Измерения длины струи проводились на высоте 2,5 см ниже отверстия, высота уровня воды в бутылке изменялась от 7 до 4 см.

2.2 Результаты измерения зависимости длины струи от времени приведены в Таблице 2. Измерения проводились по прежней методике: засекались в памяти этапы времени, когда длина струи уменьшалась на 0,5 см. График зависимости показан на рисунке.

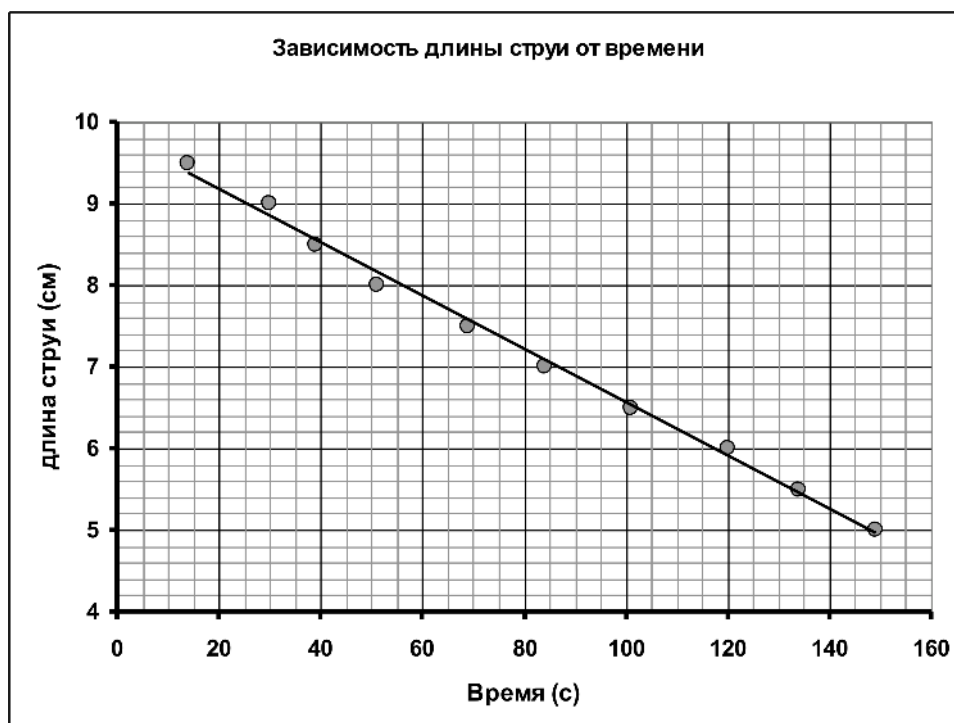


Таблица 2.

<i>t</i> , с	<i>L</i> , см
149,0	5,0
134,0	5,5
120,0	6,0
101,0	6,5
84,0	7,0
69,0	7,5
51,0	8,0
39,0	8,5
30,0	9,0
14,0	9,5

2.3 Полученные данные свидетельствуют, что зависимость длины струи от времени линейна и может быть описана функцией

$$l(t) = l_0 - Vt. \tag{2}$$

Параметры этой зависимости могут быть определены по графику

Начальная длина струи $l_0 = 9,8$ см;

Скорость изменения длины $V = 3,3 \cdot 10^{-2} \frac{\text{см}}{\text{с}}$.

2.4 Линейная зависимость длины струи от времени легко объяснима:

- высота падения струи постоянная, поэтому время движения постоянно; - поэтому длина струи пропорциональна начальной скорости струи; - в соответствии с формулой Торричелли начальная скорость пропорциональна корню из высоты; - как показано в первой части этой задачи корень из высоты линейно зависит от времени, Поэтому и длина струи линейно убывает со временем.