

Условие

Задание 10-1. Поплавок в трубке

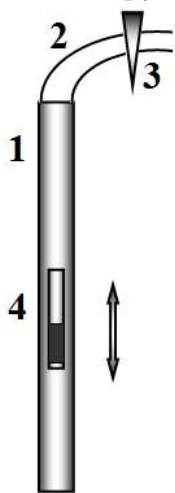
Приборы и материалы: секундомер с памятью этапов, штатив, трубка стеклянная со шкалой, гибкий силиконовый шланг с зажимом, набор из 4 пластиковых трубочек, пластилин, линейка, стакан, финишный гвоздь, пластилин, салфетки.

Штангенциркуль электронный – 5 ш. на класс.

Плотность воды $\rho_0 = 1,0 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$;

К секундомеру прилагается Инструкция по его использованию, при необходимости обращайтесь к организаторам за помощью.

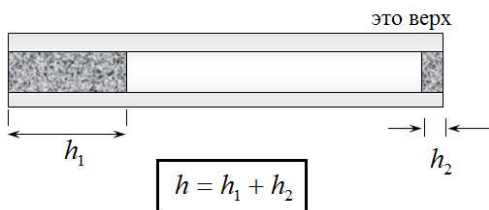
В данном задании исследуется медленное движение пластикового поплавка в узкой вертикальной трубке.



Установка: Стеклянная трубка 1 вертикально устанавливается в штативе; к узкой части трубки прикреплен гибкий силиконовый шланг 2 с зажимом 3; внутри трубки может двигаться пластиковый поплавок 4, частично заполненный пластилином. С одной стороны трубки нанесена равномерная шкала, с помощью которой можно определять положения поплавка. В качестве единицы длины можно использовать деления шкалы.

С помощью шланга вы можете заполнять трубку водой, всасывая ее ртом через шланг, после заполнения трубки водой перекройте шланг с помощью зажима. Для извлечения поплавка можно выдуть его в стакан вместе с водой.

Используйте санитарную (дезинфицирующую) салфетку для протирки конца силиконового шлага, прежде чем брать его в рот!



Тонкую пластиковую трубочку, которая служит поплавком необходимо частично заправлять пластилином с помощью небольшого гвоздика. Большая часть пластилина должна находиться с одной стороны, с другой просто закройте трубку пластилином. Общая длина пластилинового столбика складывается из суммы длин столбиков с каждой стороны. В трубке этот поплавок должен располагаться так, чтобы его центр масс находился ниже середины трубочки.

В зависимости от количества пластилина внутри трубки она может, как всплывать, так и тонуть в вертикальной стеклянной трубке.

Рекомендуем трубочку заполнять пластилином последовательно. Используйте для этого гвоздик, плотно набивайте пластилин, без полостей внутри него.

Часть 1. Движение вверх

В этой части Вам необходимо исследовать движение поплавок вверх. Помещайте его в трубку снизу, подталкивая, пока он не начнет всплывать. Измерения времен движения проводите в верхней оцифрованной части трубки после того, как движения поплавок установится. Используйте все 10 этапов памяти секундомера. Проведите измерения законов движения поплавок при суммарной длине столбика пластилина в нем в диапазоне от 10 до 25 мм (не менее 5 значений).

1.1 Измерьте законы движения поплавок при различных длинах столбиков пластилина внутри. Результаты измерений занесите в Таблицу 1.

1.2 Постройте графики законов движения для каждого значения длины столбика пластилина $t(x)$.

Пояснение: вы непосредственно должны измерять времена прохождения поплавок через отметки на шкале. Поэтому для более корректной обработки результатов следует строить зависимости $t(x)$, а не наоборот.

1.3 Укажите, можно ли считать движение поплавок равномерным, ответ кратко обоснуйте.

1.4 Для каждой длины столбика пластилина рассчитайте средние скорости движения поплавок по всему участку измерений. Укажите, каким способом Вы рассчитывали эти скорости. Результаты измерений занесите в Таблицу 1.

1.5 Для минимального и максимального столбиков оцените погрешности измерения скорости движения. Результаты занесите в Таблицу 1.

1.6 Постройте график зависимости скорости всплытия поплавок от длины столбика пластилина в нем.

Часть 2. Движение вниз

В этой части Вам необходимо исследовать движение трубочек, полностью заполненных пластилином (такие трубочки тонут). Стеклянную трубку надо перевернуть и помещать пластиковые трубочки в нее сверху.

2.1 Исследуйте закон движения трубочек разной длины. Результаты измерений занесите в Таблицу 2.

2.2 Постройте графики законов движения всех трубочек $t(x)$. Рассчитайте средние скорости их движения.

2.3 Постройте график зависимости скорости движения трубочек от их длины.

2.4 Качественно объясните характер полученной зависимости. Достаточно объяснить возрастание или убывание этой скорости при увеличении длины трубочки.

Часть 3. «Суперзадание»

Используя полученные результаты по изучению законов движения, Вам необходимо рассчитать плотность пластилина.

Подсказка. Плотность полиэтилена, из которого изготовлена трубочка, примерно равна плотности воды.

3.1 Постройте теоретическую модель, позволяющую рассчитать плотность пластилина, используя результаты изучения законов движения. Приведите формулу, по которой можно рассчитать плотность пластилина.

3.2 Приведите полученное численное значение плотности пластилина.

Примечание. Традиционные способы измерения плотности (по измерению массы и объема; использованию закона Архимеда и т.д.) оцениваться не будут.

Решение

Задание 10-1 Поплавок в трубке. Решение

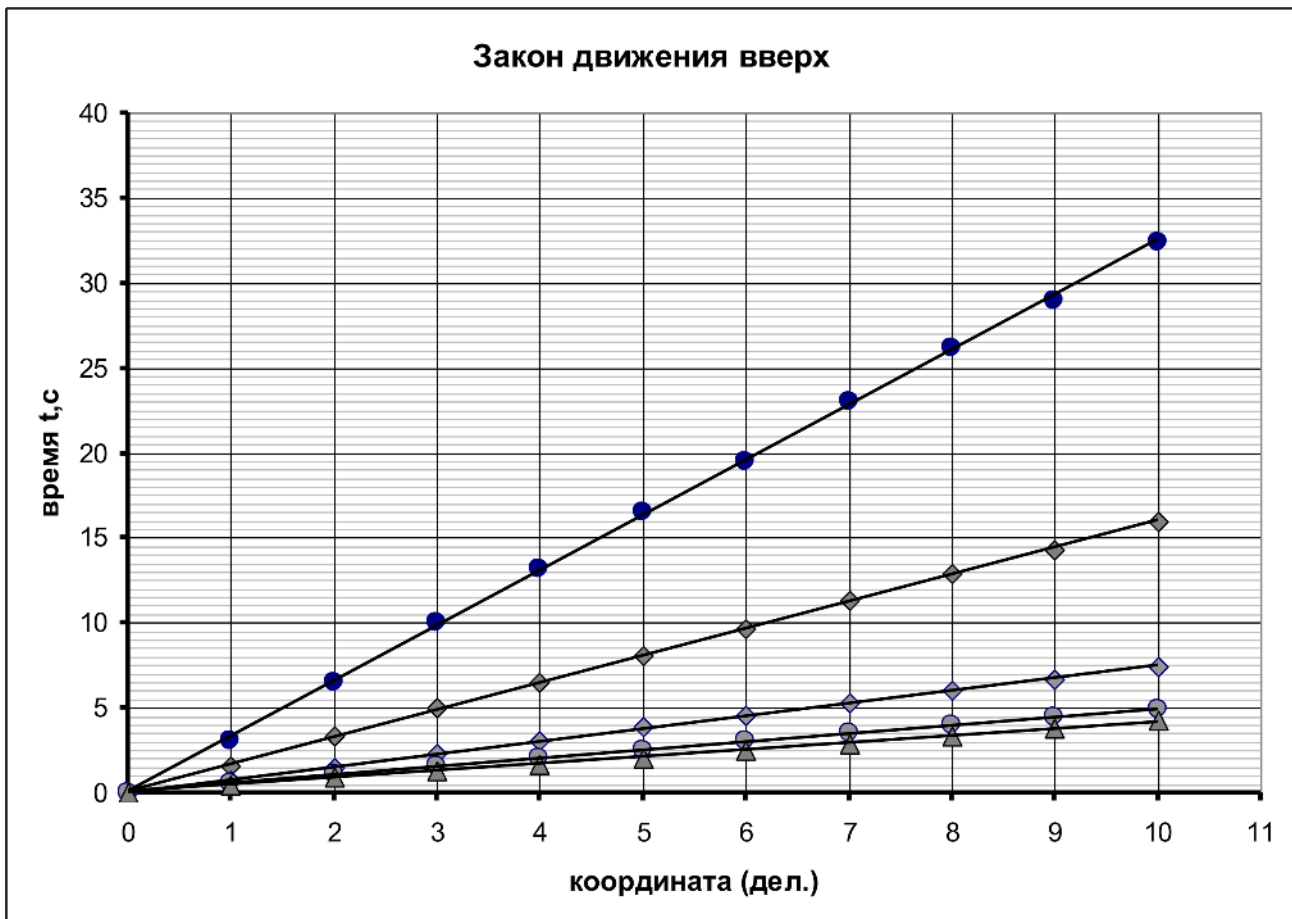
Часть 1. Движение вверх

1.1

Таблица 1. Результаты измерений и расчетов.

Длины пластины (мм) $h \rightarrow$	7	10	14	18	23	25	
Отметка шкалы (деления) $X \downarrow$	$t(x), \text{ с}$	$t(x), \text{ с}$	$t(x), \text{ с}$	$t(x), \text{ с}$	$t(x), \text{ с}$	$t(x), \text{ с}$	$t(x), \text{ с}$
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
1	0,51	0,50	0,55	0,70	1,56	3,10	
2	0,95	0,96	1,08	1,48	3,31	6,50	
3	1,33	1,39	1,59	2,36	4,99	10,03	
4	1,70	1,79	2,06	3,04	6,48	13,19	
5	2,05	2,18	2,54	3,88	8,08	16,50	
6	2,46	2,76	3,04	4,57	9,68	19,52	
7	2,91	3,16	3,49	5,26	11,32	23,06	
8	3,30	3,51	3,96	6,02	12,86	26,17	
9	3,81	3,94	4,44	6,67	14,31	28,99	
10	4,28	4,37	4,92	7,44	15,96	32,37	
Средняя скорость (дел./с) $V \rightarrow$	2,303	2,053	1,341	0,627	0,308	2,303	
Погрешность скорости $\Delta V \rightarrow$	0,051	0,032	0,024	0,006	0,004	0,051	

1.2 Графики законов движения



1.3 Можно ли считать движение равномерным?

Так как графики полученных зависимостей линейны, то движение можно считать равномерным.

1.4 Метод расчета средней скорости

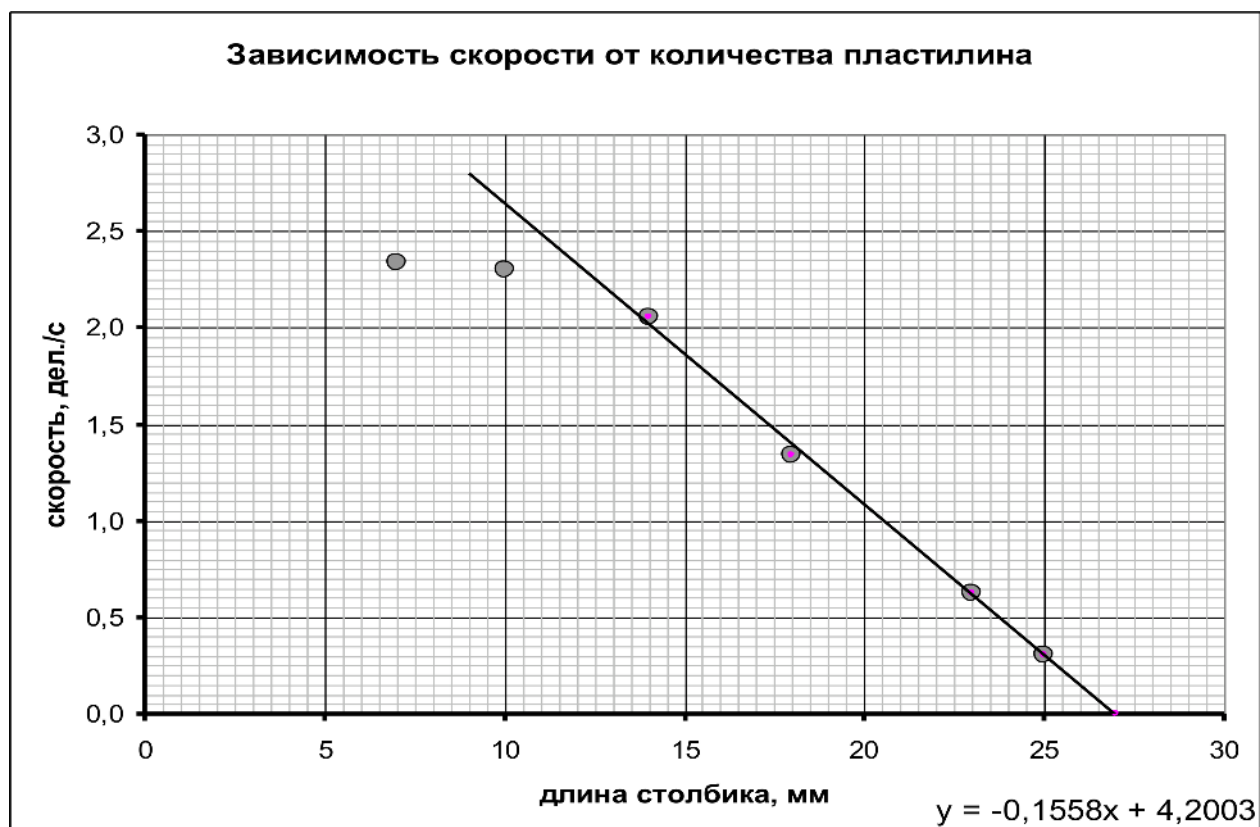
По МНК рассчитаны коэффициенты линейных зависимостей $t = aX + b$ и их погрешности. Скорости движения рассчитаны по формуле

$$V = \frac{1}{a}$$

1.5 Метод расчета погрешности скорости

Погрешности измерения скорости рассчитаны по формуле

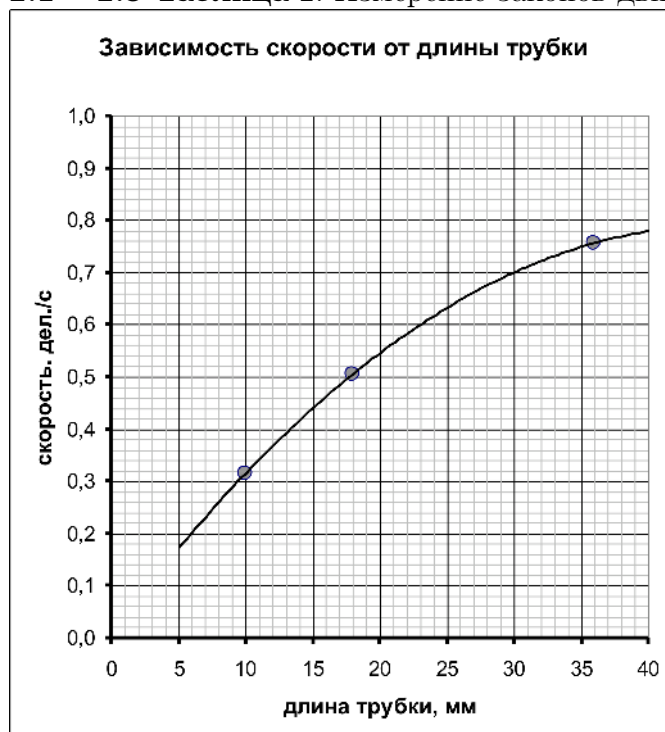
$$\Delta V = V \frac{\Delta a}{a}$$



1.6 График зависимости скорости от длины столбика пластилина

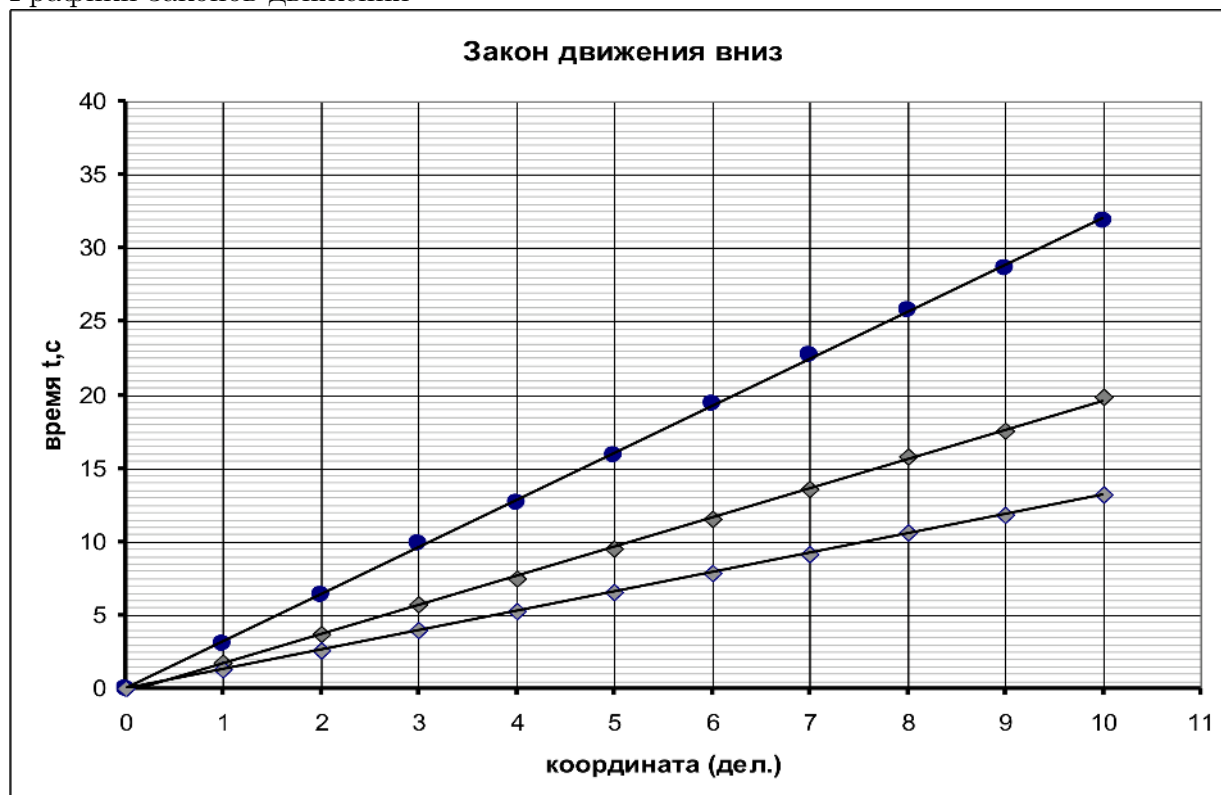
Часть 2. Движение вниз.

2.1 – 2.3 Таблица 2. Измерение законов движения, результаты расчетов.



$l \rightarrow$	10	18	36
$X \downarrow$	$t(x), \text{ c}$	$t(x), \text{ c}$	$t(x), \text{ c}$
0	0,00	0,00	0,00
1	3,03	1,80	1,30
2	6,37	3,67	2,63
3	9,86	5,75	3,97
4	12,64	7,47	5,30
5	15,86	9,48	6,53
6	19,39	11,53	7,86
7	22,76	13,59	9,17
8	25,81	15,79	10,60
9	28,68	17,58	11,87
10	31,83	19,82	13,23
Скорость (дел./с) $V \rightarrow$	0,314	0,505	0,756

Графики законов движения



2.4 Объяснение полученной зависимости.

При увеличении длины трубки разность сил тяжести и «силы Архимеда» растет быстрее, чем сила Вязкого трения. Главное, что традиционная формула для силы Архимеда при движении поплавка не применима – эта сила становится зависящей от скорости движения поплавка

Часть 3. «Суперзадание»

3.1 Теоретическая модель

Вполне очевидно, что при малых скоростях движения и ламинарном течении жидкости между трубкой и поплавком, скорость движения поплавка пропорциональна разности плотности воды и средней плотности поплавка. При равенстве этих плотностей скорость поплавка стремится к нулю.

Полученный график зависимости подтверждает эту идею – при малых скоростях скорость всплывания линейно зависит от массы поплавка (от длины столбика пластилина внутри). По графику можно найти значение длины столбика l , при котором его скорость должна стать равной нулю, для этого надо продлить аппроксимирующую прямую до пересечения с осью l . По графику находим, что $l = 27$ мм.

Так как плотность полиэтилена примерно равна плотности воды, то при расчетах ее можно не учитывать. Средняя плотность внутренней части трубки рассчитывается элементарно (массой воздуха, естественно пренебрегаем):

$$\bar{\rho} = \frac{\rho l}{L} = \rho_0$$

Откуда следует, что плотность пластилина ρ может быть рассчитана по формуле

$$\rho = \rho_0 \frac{L}{l}$$

3.2 Рассчитанное значение плотности пластилина

$$\rho = 1,3 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$$

Отметим, что измерения плотности пластилина с помощью электронных весов дало значение $\rho = 1,4 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$