

Условие

Медленное движение.

Список оборудования:

1. Штатив 2. Линейка 30-40 см 3. Секундомер 4. Шприц одноразовый 5 - 10 мл 5. Жидкий гель (для мытья посуды, шампунь, жидкое мыло) – 50 мл. 6. Трубка для коктейля (прозрачная, или полупрозрачная) диаметр – 5 мм 7. Палочка деревянная для шашлыка (диаметр 3 мм, длина 20 см) 8. Набор металлических стержней, длина 3 см, диаметры 2 от до 4 мм. 9. Скотч узкий (для крепления). 10. Стакан одноразовый 11. Тряпочка для вытирания стола и рук. 12. Вода

Конструирование установки.

Вам необходимо исследовать движение тел цилиндрической формы в узкой трубке. Насадите трубку для коктейля на одноразовый шприц, при необходимости используйте скотч для герметизации стыка, иначе в трубку начнет попадать воздух и ваши эксперименты не приведут к хорошим результатам (и оценкам).

Заполните шприц и трубку гелем. Прикрепите шприц с трубкой с помощью скотча к линейке, линейку закрепите в штативе. При необходимости с помощью поршня шприца можно освободить содержимое трубки.

Часть 1. Металл.

Расположите трубку вертикально, открытым концом вверх, так, чтобы в нее можно было опускать металлические стерженьки. При необходимости можете проводить повторный эксперимент просто перевернув трубку: стержень опустился – перевернули трубку и можете повторить измерения.

Подберите, при необходимости, нужную концентрацию геля – он может быть очень вязким. Сначала попробуйте опустить самый тонкий металлический стерженек в вертикальную трубку. Время его опускания на 7-8 см должно быть около 1 минуты. Если время опускания значительно больше этого, то немного разбавьте его водой. В дальнейшем концентрацию раствора не изменяйте!

1. Докажите экспериментально, что движение стержня внутри трубки равномерным. Определите скорость падения стержня с максимальной точностью. 2. Измерьте зависимость скорости движения стержня (постоянной длины) от его диаметра. Постройте график полученной зависимости. 3. Теоретически можно показать, что скорость движения стержня зависит от толщины зазора между стенкой трубки и боковой поверхностью стержня по закону

$$V = Ch^{\gamma}.$$

Используя полученные экспериментальные данные, проверьте данную зависимость. Попробуйте определить показатель степени γ в данной формуле.

Часть 2. Дерево.

1. Расположите трубку вертикально открытым концом вверх. Поместите деревянную палочку для шашлыка в трубку. Измерьте глубину погружения палочки. Рассчитайте отношение плотности дерева к плотности геля.

Переверните трубку со шприцом открытым концом вниз. Если теперь вставить кусочек палочки для шашлыка в трубку (снизу!), то он начнет медленно всплывать. Отрежьте от палочки кусочек длиной 6 см. Поместите его в трубку, если он всплывает очень медленно (медленнее, чем за 5 минут), то слегка разбавьте раствор. Далее вам предстоит изучать движение кусочка палочки. Начинайте с максимальной длины, затем ее постоянно уменьшайте. При движении палочка должна полностью находиться внутри жидкости.

2. Докажите экспериментально, что движение палочки является равномерным. 3. Исследуйте зависимость скорости движения палочки от ее длины. Постройте график полученной зависимости. Дайте качественное объяснение полученного результата.

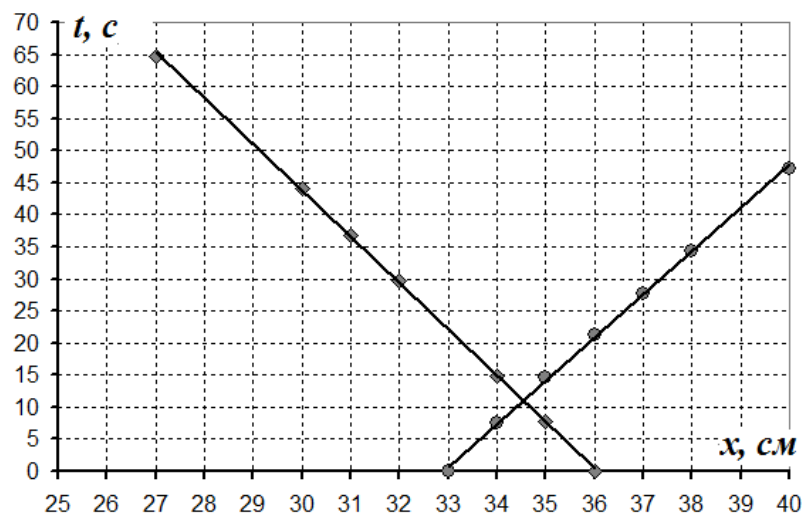
Решение

Медленное движение.

В данной задаче изучается закон движения, причем во всех случаях это движение является равномерным. С точки зрения «теоретиков» не разницы строить зависимость координаты от времени $x(t)$, или времени от координаты $t(x)$. Однако «настоящий экспериментатор»¹ должен строить вторую зависимость $t(x)$, потому, что в ходе измерений предпочтительнее измерять время прохождения заданного пути (так проще и точнее). При таком методе измерения погрешность измерения времени больше погрешности заметно больше, чем погрешность определения координаты, поэтому время должно быть «функцией», а координата – «аргументом». Ниже мы везде будем строить зависимость $t(x)$. Коэффициент наклона прямой в этом случае равен величине обратной скорости.

Ниже приведены результаты измерений и графики полученных зависимостей. Они построены отдельно, чтобы не загромождать рисунки. Для каждого стержня измерения проведены дважды, причем во второй раз установка перевернута, поэтому наклон графика противоположный. В качестве оси координат везде использована шкала линейки (поэтому графики не выходят из нуля). Полностью допустимым является иное начало отсчета, например, совпадающее с положением стержня в момент начала отсчета времени. В названии таблицы приведен диаметр исследуемого стержня. Приведенные здесь измерения проведены в неразбавленном геле для мытья посуды. В нижней строке указаны рассчитанные по графикам скорости движения (в см/с).

Таблица 1. $d = 2,0\text{мм}$.

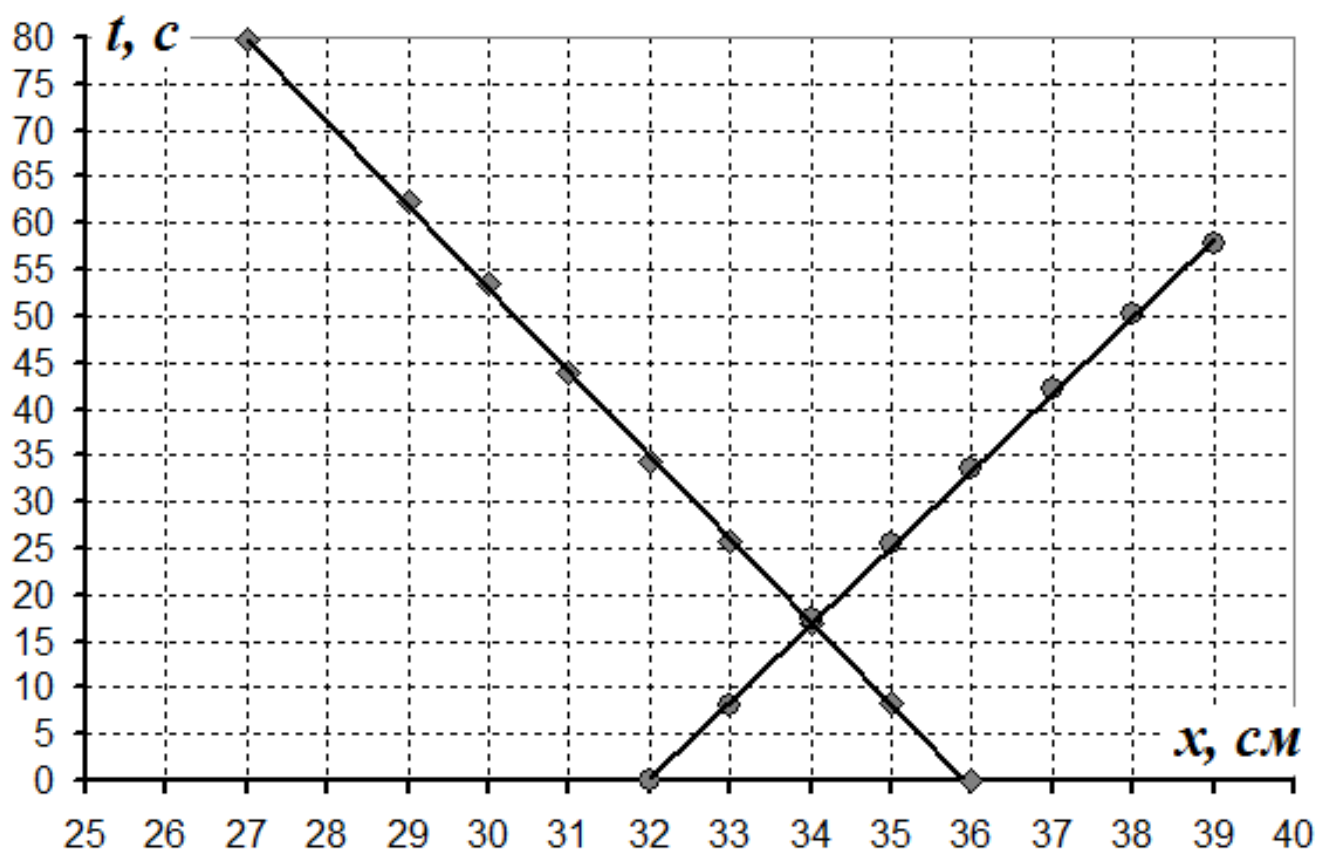


Открытый конец вверх		Открытый конец вниз	
x , см	t , с	x , см	t , с
36	0		
35	7,67	33	0
34	14,91	34	7,49
33		35	14,65
32	29,65	36	21,23
31	36,8	37	27,77
30	44,16	38	34,43
29		39	
28		40	47,25
27	64,59		
0,139		0,149	

График 1.

¹ По нашему мнению, высшим баллом за методику измерения следует оценивать именно измерение $t(x)$, так точность в этом случае действительно выше. При измерении зависимости $x(t)$ (то есть попытка фиксировать координату в определенные моменты времени) трудно точно зафиксировать положение тела. При оценивании построения графика следует учесть методику измерения – построение графика должно соответствовать ей. В противном случае следует немного наказывать при выставлении оценок.

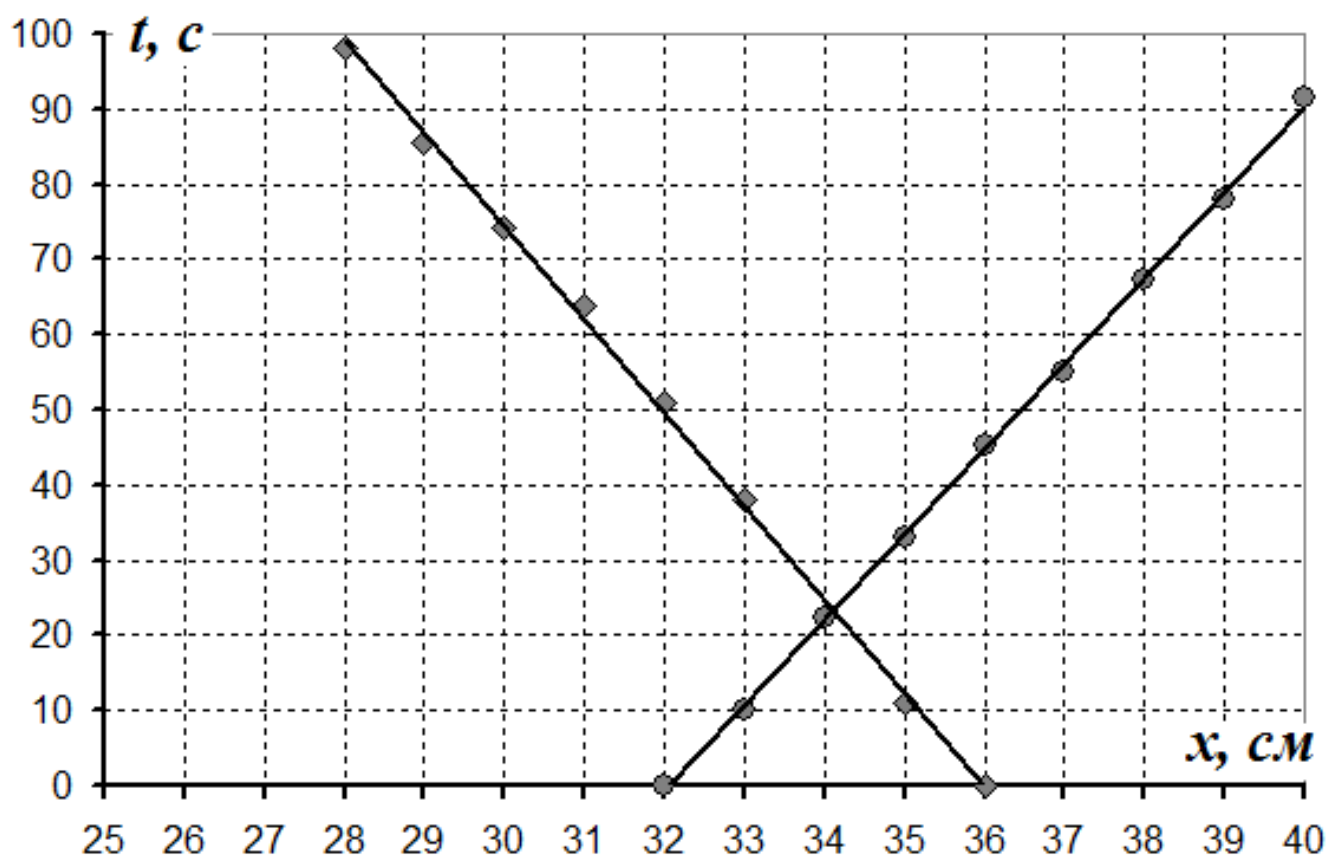
Таблица 2. $d = 2,5\text{мм}$.



Открытый конец вверх		Открытый конец вниз	
x , см	t , с	x , см	t , с
36	0	32	0
35	8,39	33	8,19
34	16,94	34	17,43
33	25,68	35	25,48
32	34,22	36	33,69
31	43,79	37	42,09
30	53,5	38	50,22
29	62,39	39	57,74
27	79,85	40	
36	0	32	0
0,112		0,121	

График 2.

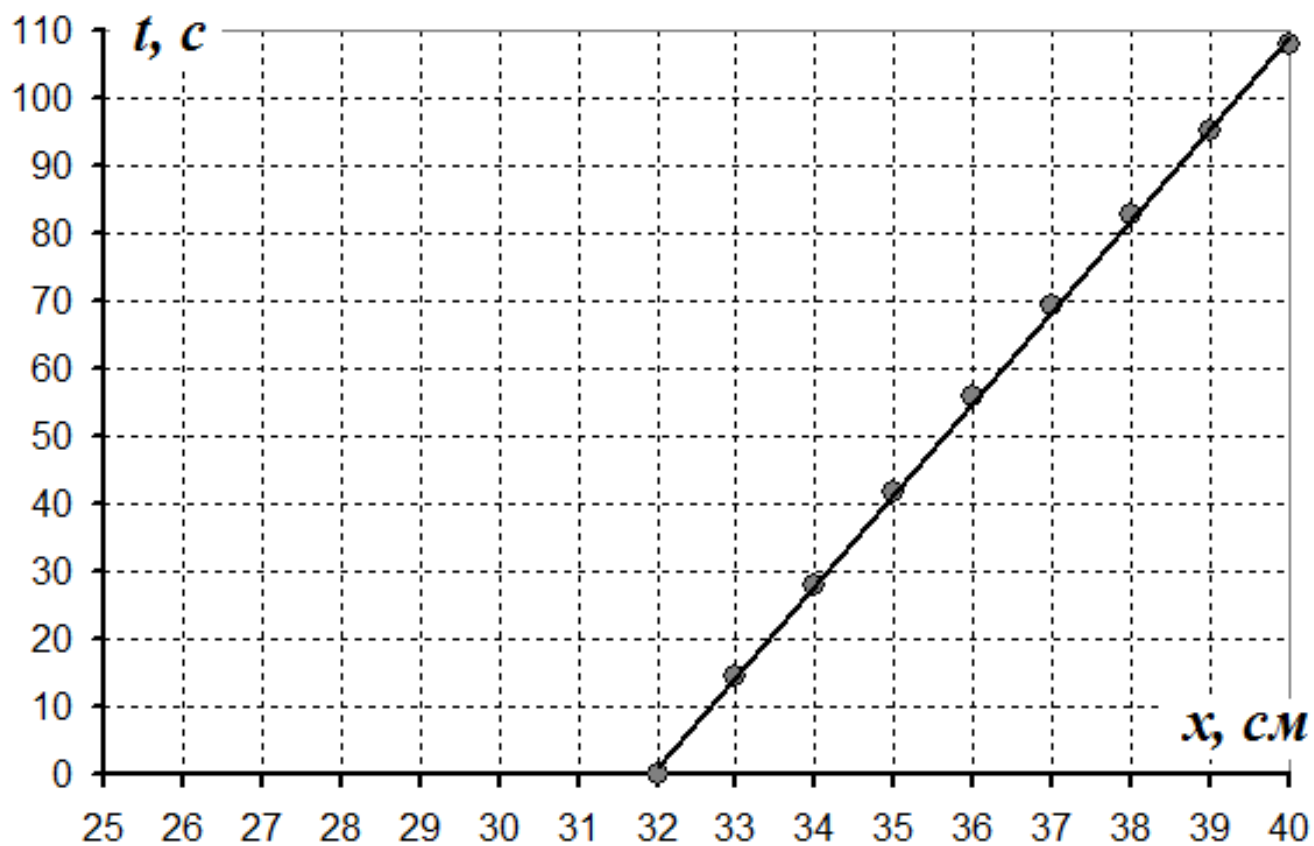
Таблица 3. $d = 2,8\text{мм}$.



Открытый конец вверх		Открытый конец вниз	
x , см	t , с	x , см	t , с
36	0	32	0
35	11,01	33	10,04
34	22,73	34	22,17
33	37,92	35	32,94
32		36	45,4
32	50,99	37	55,16
31	63,77	38	67,17
30	74,25	39	77,9
29	85,4	40	91,53
28	98,08	32	0
0,081		0,088	

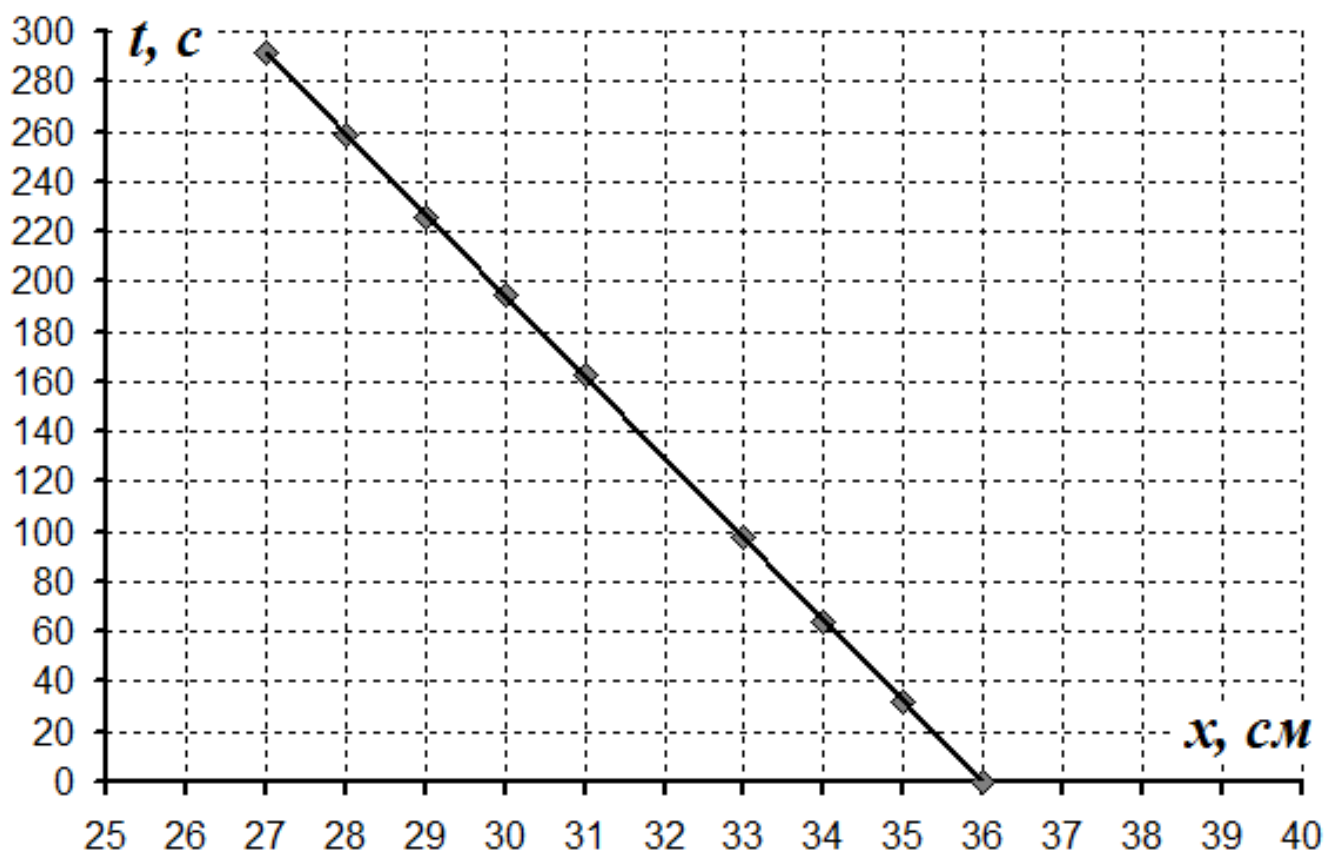
График 3.

Таблица 4. $d = 3,0\text{мм}$.



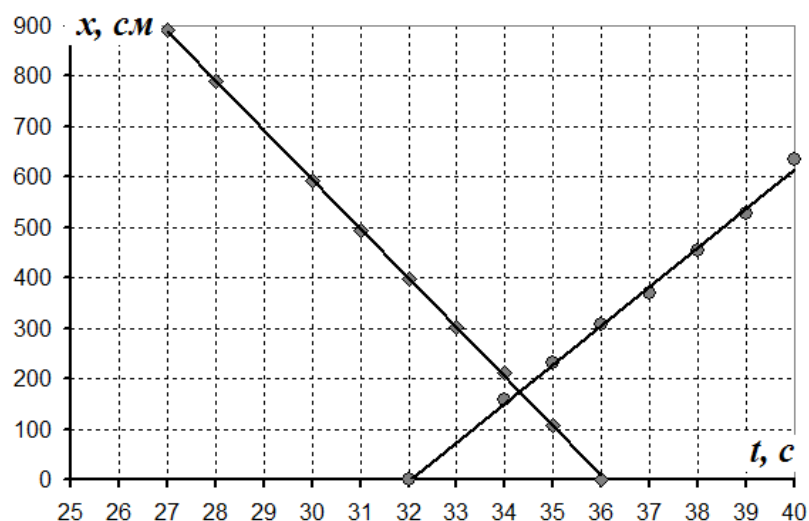
Открытый конец вверх		Открытый конец вниз	
$x, \text{ cm}$	$t, \text{ s}$	$x, \text{ cm}$	$t, \text{ s}$
		32	0
		33	14,52
		34	28,06
		35	41,82
		36	55,82
		37	69,15
		38	82,72
		39	95,1
		40	108,03
		0,074	

График 4. Таблица 5. $d = 3,5 \text{ мм}$.



Открытый конец вверх		Открытый конец вниз	
x , см	t , с	x , см	t , с
36	0		
35	31,61		
34	64,06		
33	98,22		
32			
31	162,63		
30	194,4		
29	225,92		
28	258,21		
27	291,94		
0,0309			

График 5. Таблица 6. $d = 4,0\text{мм}$.



Открытый конец вверх		Открытый конец вниз	
x , см	t , с	x , см	t , с
36	0	32	0
35	108,04	33	
34	211,07	34	157,01
33	303,25	35	230,65
32	399,17	36	306,16
31	493,42	37	368,37
30	591,98	38	452,83
29		39	526,82
28	790,42	40	633,97
27	891,23	32	0
0,0102			0,130

График 6.

Заметим, что в соответствии с условием от участников не требуется измерять закон движения для всех стержней. Достаточно провести такие измерения для одного стержня (с меньшим шагом, для стержня максимального диаметра – движение медленное, измерения точнее). Для остальных – можно несколько раз измерить время прохождения фиксированного пути, и рассчитать скорость движения. Мы тоже позволили себе также пропустить некоторые измерения.

Разброс значений времен движения (соответственно и скоростей) может быть весьма заметным, порядка 20%. Это обусловлено тем, на каком расстоянии от оси трубки движется стержень. Поэтому измерения времен следует производить неоднократно, 5-6 раз!

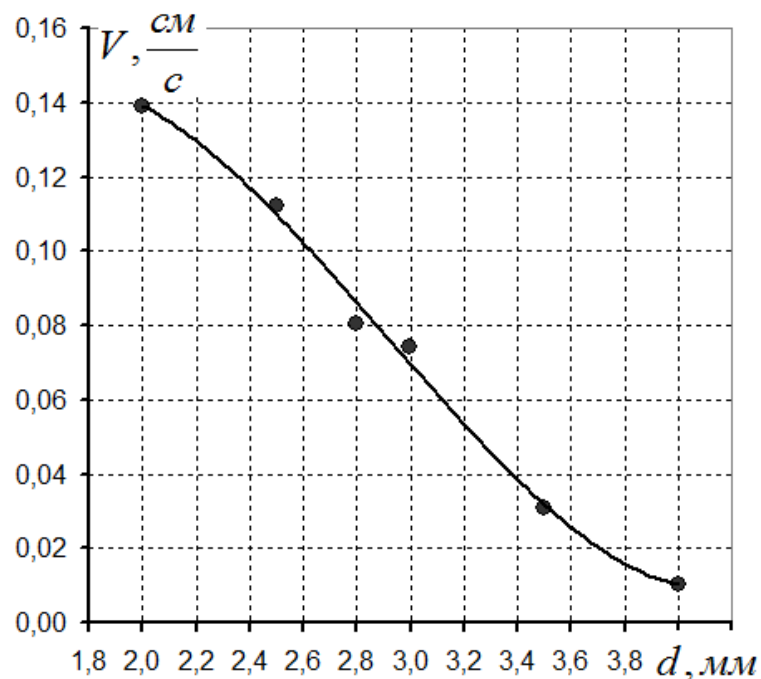


График зависимости скорости стержня от его диаметра показан на рисунке 7. По его внешнему виду трудно определить вид функциональной зависимости. Однако, в теоретическом туре участники должны были получить, что зависимость скорости от толщины зазора кубическая, поэтому следует предпринять попытку такой проверки.

График 7.

Эту проверку можно провести различными способами, например, построить зависимость скорости от куба разности диаметров трубки ($D = 5,1$ мм) и стержня. (график 8). Эта зависимость близка к линейной, что частично подтверждает выдвинутую гипотезу.

Наиболее разумным (но не доступным для девятиклассников) методом определения показателя степени является построения графика в двойном логарифмическом масштабе. Такой метод анализа показывает, что показатель степени действительно близок к трем.

Дополнение. Приведем данные по изучению закона движения в геле, слегка разбавленном водой. В этом случае скорости движения значительно больше, что ускоряет измерения, но увеличивает их погрешность. Кроме того, в этом случае можно провести измерения для более толстого стержня (приведено, для $d = 4,0$ мм).

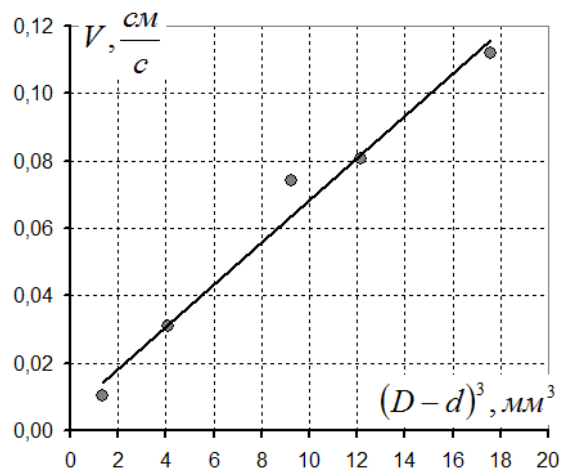
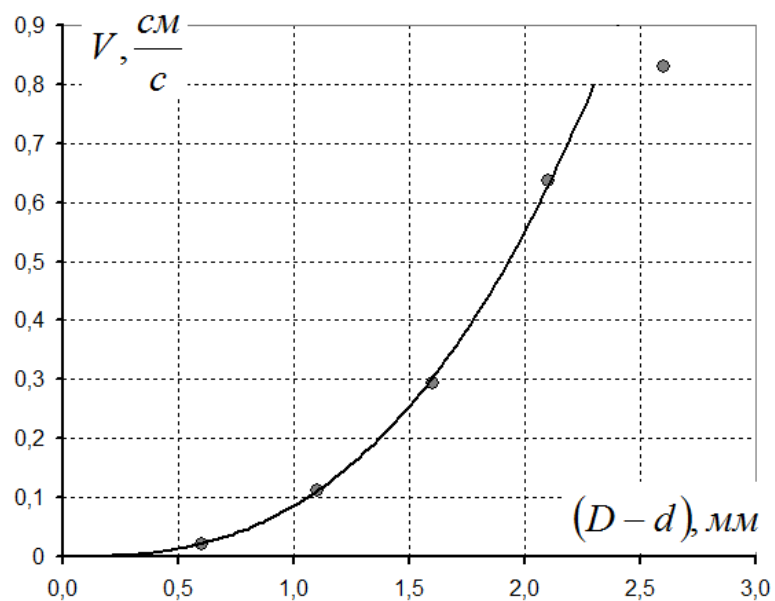
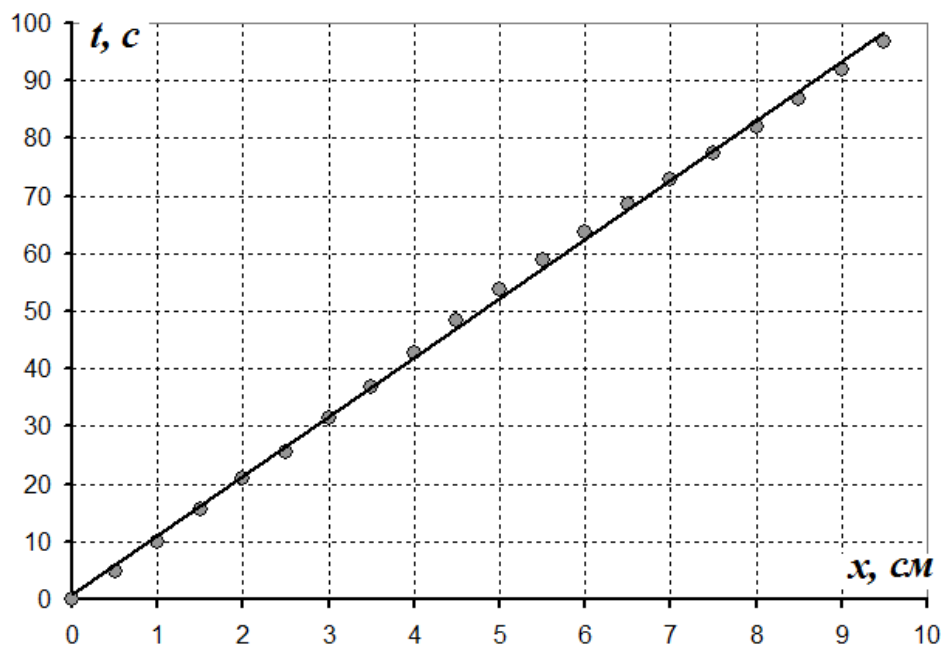


Таблица 7.

x, см	**t, с**
0,00	0,00
0,50	4,91
1,00	9,93
1,50	15,63
2,00	20,85
2,50	25,58
3,00	31,54
3,50	36,93
4,00	42,86
4,50	48,52
5,00	53,80
5,50	58,97
6,00	63,61
6,50	68,43
7,00	72,76
7,50	77,50
8,00	82,06
8,50	86,85
9,00	92,02
9,50	96,75

График 9.





Приведем также зависимость скорости стержня от разности диаметров трубки и стержня. Эта зависимость гораздо больше похожа на степенную зависимость, причем показатель степени (если отбросить движение самого тонкого стержня) весьма близок к 3.

График 10.

Часть 2. Дерево.

Если погрузить стержень в трубку с гелем сверху, то он установится на определенной глубине. Отношение длины погруженной части к полной длине стержня будет равно отношению их плотностей. По нашим измерениям это отношение близко к 0,7 (оно зависит от используемого геля).

Доказательство равномерности движения проводится аналогично, приведенному в первой части. Эксперимент показывает, что движение действительно очень близко к равномерному.

Время всплытия (следовательно, и скорость) в пределах погрешностей измерений **не зависит (!)** от длины палочки, поэтому график этой «зависимости» является горизонтальной прямой. Причина этого явления подробно рассмотрена в теоретической задаче: суммарная сила давления жидкости и сила вязкого трения пропорциональны длине стержня, поэтому скорость установившегося движения от длины стержня не зависит.