

Условие

Задача 11-1. Неньютоновская жидкость.

Жидкое мыло является неньютоновской жидкостью, для которого закон Ньютона вязкости не применим. В данной задаче вам необходимо исследовать движение пластилиновых шариков в такой жидкости. Не удивляйтесь полученным результатам, они могут быть неожиданными для вас.

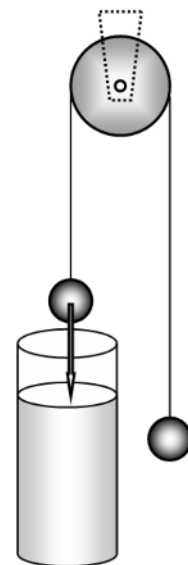
Оборудование: мензурка 250 мл с жидким мылом, кусок пластилина, секундомер с памятью этапов, штатив с блоком, леска рыболовная, линейка. 7 канцелярских скрепок.

Закрепите блок в лапке штатива, через блок протяните леску, к концам которой прикрепите два одинаковых пластилиновых шарика (диаметром примерно 15 мм). Один из шариков должен входить в мензурку с налитым жидким мылом. Вам необходимо исследовать движение этого шарика, как при подъеме, так и при опускании. Второй шарик, движущийся в воздухе буде называть шарик – противовес.

Для измерения расстояний пользуйтесь шкалой мензурки. Цель данной задачи – исследовать характер зависимостей, поэтому единица измерения длины роли не играет – пусть такой единицей будет «единица шкалы, соответствующая изменению объема на 1 мл (обозначайте эту единицу – «дел»).

Закрепите блок в лапке штатива, через блок протяните леску, к концам которой прикрепите два одинаковых пластилиновых шарика (диаметром примерно 15 мм). Один из шариков должен входить в мензурку с налитым жидким мылом. Вам необходимо исследовать движение этого шарика, как при подъеме, так и при опускании. Второй шарик, движущийся в воздухе буде называть шарик – противовес.

Для измерения расстояний пользуйтесь шкалой мензурки. Цель данной задачи – исследовать характер зависимостей, поэтому единица измерения длины роли не играет – пусть такой единицей будет «единица шкалы, соответствующая изменению объема на 1 мл (обозначайте эту единицу – «дел»).



Внимательно продумывайте последовательность экспериментов, они требуют терпения и достаточного времени. Для измерения закона движения удобно пользоваться секундомером с памятью этапов. Если вы не умеете пользоваться таким режимом – обратитесь за консультацией к организаторам.

Ни в коем случае не выливайте мыло из мензурки (даже если затем вы зальете обратно) – мыло должно после переливания отстаиваться сутки, а столько времени у вас нет!

При проведении измерений используйте шарик на леске, чтобы его можно было поднять со дна мензурки.

Внимательно продумывайте последовательность экспериментов, они требуют терпения и достаточного времени. Для измерения закона движения удобно пользоваться секундомером с памятью этапов. Если вы не умеете пользоваться таким режимом – обратитесь за консультацией к организаторам.

Ни в коем случае не выливайте мыло из мензурки (даже если затем вы зальете обратно) – мыло должно после переливания отстаиваться сутки, а столько времени у вас нет!

При проведении измерений используйте шарик на леске, чтобы его можно было поднять со дна мензурки.

Часть 1. Закон движения при погружении.

В данном задании вам необходимо исследовать движение шарика при погружении (второй шарик на свободном конце нити можете закрепить на штативе). Следите, чтобы леска не касалась стенок мензурки. Измерения проводите только тогда, когда шарик полностью погружен в мыло.

Используйте секундомер с памятью этапов – засекайте времена прохождения определенных отметок глубины.

1.1 Измерьте времена погружения шарика от глубины погружения $t(h)$. Измерения проведите несколько раз.

1.2 Постройте график усредненного закона движения шарика $h(t)$. Сглаживающую линию не проводите. Проведите прямую, рассчитанную в п.1.4.

1.3 Рассчитайте среднюю скорость движения шарика на всем пройденном пути. Оцените погрешность найденного значения.

1.4 Предположим, что движения шарика является равномерным. Определите параметры закона равномерного движения, которые точнее всего описывают экспериментальные данные. Постройте график найденного приближенного закона движения (на том же бланке, что в п.1.2). Укажите значения координат точек, по которым вы построили эту прямую. Считая экспериментальные отклонения случайными, рассчитайте погрешность найденного значения скорости в равномерном приближении.

1.5 По экспериментальным данным рассчитайте зависимость скорости шарика от времени. Постройте график полученной зависимости. Параметры графика и оценку погрешностей находить не требуется.

1.6 Используя полученный график зависимости скорости от времени. укажите, можно ли считать отклонения экспериментальных точек от графика равномерного приближения случайными.

1.7 Укажите основные причины, которые могут привести к появлению систематических отклонений закона движения шарика от равномерного приближения.

Часть 2. Подъем шарика.

Оценка погрешностей в данном задании не требуется.

В этой части вам необходимо исследовать подъем шарика под действием второго шарика-противовеса. Считайте, что подъем шарика происходит с постоянной скоростью. Исследовать закон движения не нужно – достаточно измерить среднюю скорость подъема. Массу противовеса можно увеличивать, прикрепляя к нему канцелярские скрепки. Укажите, на каком интервале высот вы проводили измерения.

2.1 Измерьте зависимость скорости подъема шарика от числа скрепок $V(n)$, прикрепленных к шарiku противовеса. Постройте график полученной зависимости.

2.2 Выясните, могут ли отклонения экспериментальных данных от приближенной зависимости считаться систематическими (а не обусловленными погрешностями измерений).

2.3 Укажите возможные причины систематических отклонений экспериментальных данных от линейной зависимости скорости шарика от массы шарика противовеса. Ответ обоснуйте на основании ваших экспериментальных данных.

Решение

Задача 11-1. «Неньютоновская жидкость»

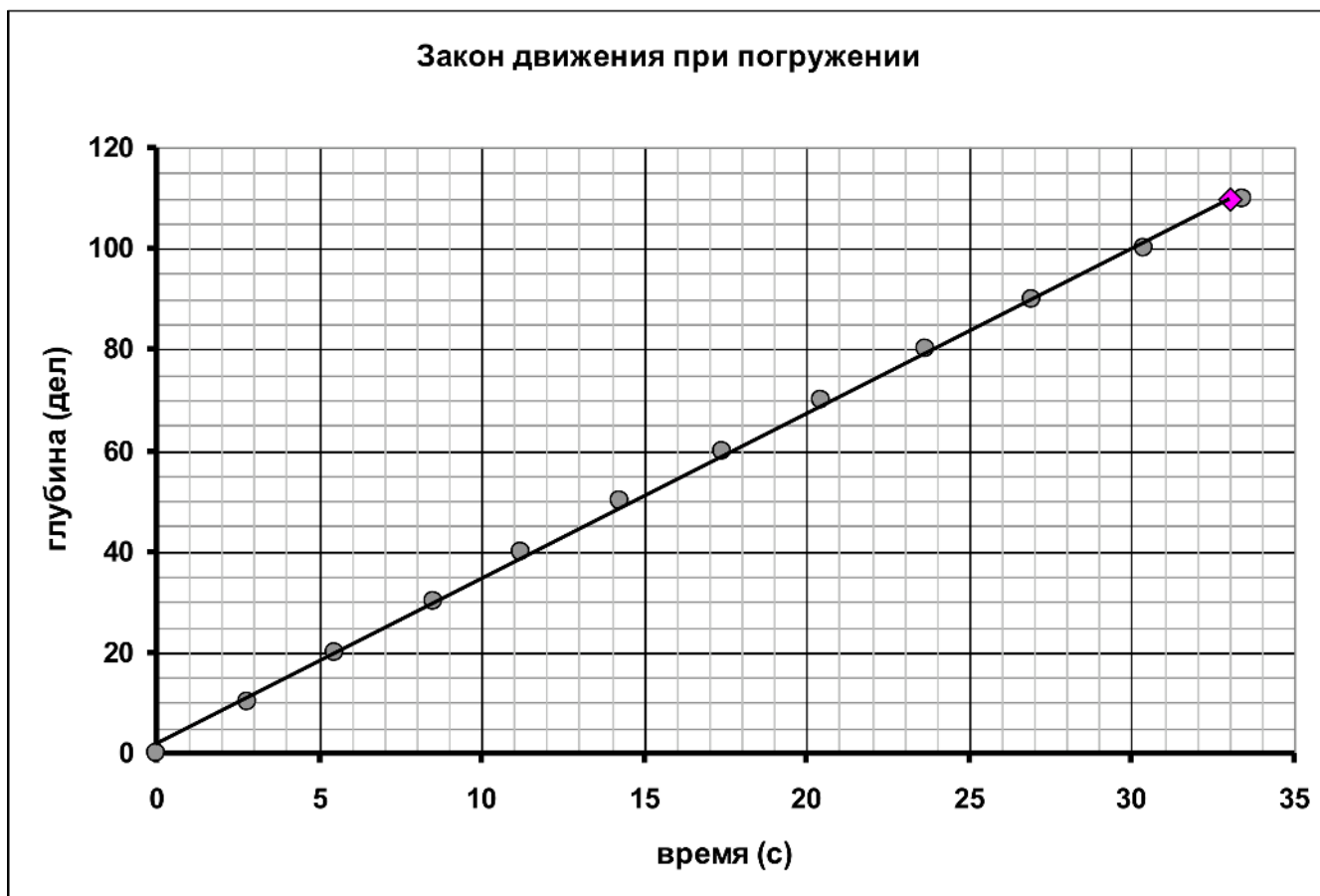
Часть 1. Закон движения при погружении.

1.1 В таблице 1 приведены результаты измерений времен t погружения шарика диаметром $D = 15$ мм на глубину h . Приведены результаты трех измерений закона движения, проведено усреднение времен $\langle t \rangle$.

Таблица 1.

h , дел.	t_1 , с	t_2 , с	t_3 , с	$\langle t \rangle$, с	V , $\frac{\text{дел}}{\text{с}}$
0	0	0,00	0,00	0,00	
10	3,03	2,68	2,75	2,82	3,63
20	5,53	5,63	5,36	5,51	3,51
30	8,21	9,04	8,31	8,52	3,50
40	10,45	12,12	11,09	11,22	3,47
50	13,2	15,39	14,24	14,28	3,24
60	15,95	19,08	17,17	17,40	3,24
70	18,87	21,88	20,58	20,44	3,18
80	21,83	25,12	24,10	23,68	3,07
90	24,45	28,48	27,96	26,96	2,99
100	27,6	31,70	31,85	30,38	3,11
110	30,61	33,63	35,95	33,40	

1.2 График полученной зависимости глубины от времени показан на рисунке.



1.3 Средняя скорость рассчитывается как отношение всего пройденного пути ко времени:

$$\langle V \rangle = \frac{S}{t} = \frac{110}{33,40} \approx 3,29 \frac{\text{дел}}{\text{с}}. \quad (1)$$

Погрешность определения скорости определяется погрешностью измерения времени, которая может быть оценена различными способами. например, как среднеквадратичная

$$\Delta t = \sqrt{\frac{\sum_k (t_k - \langle t \rangle)^2}{3}} \approx 2\text{с}. \quad (2)$$

$$\sqrt{\frac{\sum_k (t_k - \langle t \rangle)^2}{3}}$$

Тогда погрешность определения скорости равна

$$\Delta V = \langle V \rangle \frac{\Delta t}{\langle t \rangle} \approx 0,2 \frac{\text{дел}}{\text{с}}. \quad (3)$$

Окончательный результат расчета средней скорости

$$\langle V \rangle = (3,3 \pm 0,2) \frac{\text{дел}}{c}. \quad (4)$$

1.4 В данном эксперименте основную погрешность привносят измерения времени, поэтому при использовании МНК следует искать параметры зависимости

$$t = ah + b. \quad (5)$$

Расчеты по МНК дают следующие значения параметров:

$$a = (0,3050 \pm 0,006) \frac{c}{\text{дел}}. \quad (6)$$

$$b = (-0,6 \pm 0,4)c$$

Скорость в равномерном приближении принимает значение

$$\begin{cases} V = \frac{1}{a} = 3,279 \\ dV = V \frac{\Delta a}{a} = 0,067 \end{cases} \Rightarrow V = (3,28 \pm 0,07) \frac{\text{дел}}{c} \quad (7)$$

Для построения этой прямой можно взять две крайние точки, для которых времена рассчитываются по формуле (5) с найденными коэффициентами:

$$\begin{cases} h_1 = 0,0 \text{ дел} \\ t_1 = -0,6c \end{cases}, \quad \begin{cases} h_2 = 110 \text{ дел} \\ t_2 = 33c \end{cases}.$$

Прямая изображена на графике.



1.5 Расчет скоростей может быть проведен по данным Таблицы 1. Скорость в момент времени t_k рассчитывается по симметричной формуле

$$V_k = \frac{h_{k+1} - h_{k-1}}{t_{k+1} - t_{k-1}}. \quad (8)$$

Результаты таких расчетов приведены в последнем столбце Таблицы 1. График зависимости скорости от времени показан на рисунке.

Конечно, отклонение точек от прямой достаточно существенно (что связано с большой погрешностью расчета скорости на каждом интервале). Но четко наблюдается тенденция к уменьшению скорости по мере погружения. 1.6 Возможными причинами наблюдаемой тенденции являются: - налипание мелких пузырьков воздуха на шарик; - приближение шарика к стенке сосуда (если она не вертикальна).

Часть 2. Подъем шарика.

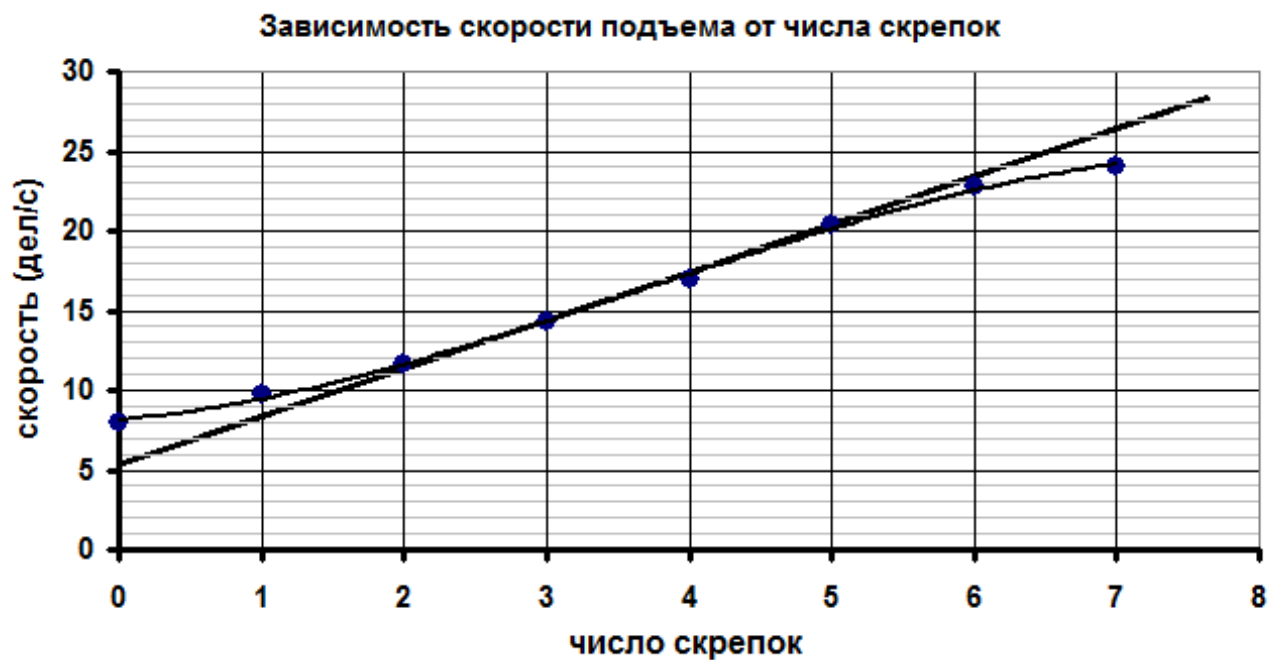
Измерения проведены при глубине погружения 110 дел. 2.1 Таблица 2 результатов измерений времен погружения при разном числе скрепок приведена ниже. Последний столбец – средние скорости движения, рассчитанные по понятной формуле

$$V = \frac{h}{\langle t \rangle}.$$

Таблица 2.

n	$t_1, \text{с}$	$t_2, \text{с}$	$t_2, \text{с}$	$\langle t \rangle, \text{с}$	$V, \frac{\text{дел}}{\text{с}}$
0	13,23	13,92	14,07	13,74	8,01
1	11,47	11,1	11,22	11,26	9,77
2	9,25	9,59	9,48	9,44	11,65
3	7,79	7,59	7,74	7,71	14,27
4	6,88	6,37	6,15	6,47	17,01
5	5,53	5,47	5,23	5,41	20,33
6	4,76	4,73	5,01	4,83	22,76
7	4,55	4,51	4,65	4,57	24,07

. График зависимости скорости подъема шарика от числа добавленных скрепок показан на рисунке. На нем же показана прямая, проходящая через средние точки зависимости.



2.2 Хорошо видно, что экспериментальные данные систематически отклоняются от проведенной прямой, поэтому эти отклонения не могут быть объяснены погрешностями измерений.

2.3 Возможными причинами наблюдаемых нелинейностей являются свойства самой жидкости: - неизвестная зависимость силы сопротивления от скорости; - наличие присоединенной массы (слоя жидкости, увлекаемого в движение шариком).