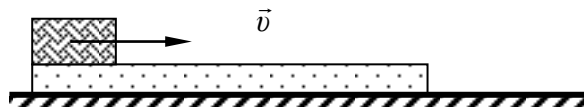


**Муниципальный этап всероссийской олимпиады школьников по физике.  
2024/25 учебный год. 10 класс. Максимальный балл – 50.**

**Задача №1**

Вдоль доски массой  $m$ , закреплённой на гладкой горизонтальной поверхности, запустили со скоростью  $v$  небольшое тело массой  $m$  (см. рисунок). Тело переместилось по доске на расстояние  $s$ , после чего остановилось.



**Вопрос №1**

На какое расстояние переместится тело до остановки на закреплённой доске, если его массу уменьшат в два раза и запустят с той же начальной скоростью?

**Вопрос №2**

На какое расстояние относительно доски переместится тело, если его массу уменьшат в два раза (относительно начальной) и запустят с той же начальной скоростью по незакреплённой доске?

**Возможное решение.**

**Вопрос №1**

Запишем закон сохранения энергии для исходной ситуации  $\frac{mv^2}{2} = F_{\text{тр}} s$  (1),

где  $F_{\text{тр}} = \mu N = \mu mg$  (2), откуда  $s = \frac{v^2}{2\mu g}$  (3). Из формулы (3) следует, что перемещение не зависит от массы тела. Следовательно, в первом случае при уменьшении массы тела в два раза перемещение останется прежним  $s_1 = s$ . (4).

**Вопрос №2**

Запишем закон сохранения импульса и энергии для второго случая  $\frac{m}{2}v = \left(\frac{m}{2} + m\right)u$  (5) и  $\frac{mv^2}{4} = \frac{3mu^2}{4} + F_{\text{тр}1} s_2$  (6). Из формул (5) и (6) перемещение тела массой  $m/2$  относительно доски  $s_2 = \frac{mv^2/4 - mv^2/12}{\mu g m/2} = \frac{v^2}{3\mu g}$  (7). С учетом формулы (3) перемещение тела массой  $m/2$  относительно доски во втором случае  $s_2 = \frac{2}{3} s$  (8).

**Критерии оценивания**

| № | Критерий                                                            | Кол-во баллов |
|---|---------------------------------------------------------------------|---------------|
| 1 | Формула (1) или кинематическая связь ускорения и тормозного пути    | 2             |
| 2 | Формула (2) или запись второго закона Ньютона для шайбы             | 1             |
| 3 | Формула (3) или аналогичная                                         | 1             |
| 4 | Ответ на первый вопрос – тормозной путь не изменится                | 1             |
| 5 | Формула (5) или запись вторых законов Ньютона для шайбы и для доски | 2             |

|   |                                                                                                                             |    |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 6 | Формула (6) или запись кинематических уравнений для движения доски и шайбы и указание, что их конечные скорости будут равны | 2  |
| 7 | Формула (7) или результат (8)                                                                                               | 1  |
|   | Итого                                                                                                                       | 10 |

## Задача №2



*Рис. 1. Скриншот из компьютерной игры, где удильщики живут в невесомости и плавают в газе*

Известно, что рыбы живут в воде, но не могут жить в воздухе. В одной компьютерной игре ученые синтезировали супер-газ, в котором рыбы жили как в воде. Особенно полезным это оказалось при длительных космических путешествиях в невесомости, т.к. масса газа была значительно меньше массы жидкости, а рыбы в нем плавали без всяких затруднений.

Возьмём конкретные рыб - удильщиков. В обычных условиях они живут на планете Земля на глубине около 2 километров под водой. На такой глубине температура воды примерно равна 4 градуса Цельсия.

### **Вопрос №1**

Оцените плотность супер-газа, если его давление и температура будут соответствовать обычным условиям для удильщиков.

Считайте, что супер-газ при таких параметрах подчиняется уравнению Менделеева-Клапейрона. Молярная масса супер-газа 18 г/моль.

Определим скорость, с которой удильщик будет двигаться в супер-газе. Будем считать, что продвижение удильщика вперед происходит за счет действия реактивной силы, возникающей при отталкивании плавниками некоторого объема воды/газа. При этом на рыбу действует и сила сопротивления со стороны окружающей среды. При таких малых скоростях сила сопротивления хорошо описывается формулой  $F_{\text{сопр}} = k\rho v$ , где  $v$  – скорость относительно среды,  $\rho$  - плотность среды, а величина  $k$  зависит только от формы и размеров объекта. Форма рыбы не обтекаемая, поэтому  $k$  велико. Установившаяся скорость движения удильщика в воде составляет 43 мм/с.

Рассмотрим две модели:

**Модель №1.** Будем считать, что в супер-газе рыбы поддерживают частоту и

амплитуду гребков плавниками такую же, как в воде, то есть скорость движения плавников относительно тела рыбы одинакова в воде и супер-газе.

**Модель №2.** Будем считать, что в супер-газе рыбы поддерживают скорость движения плавников относительно тела рыбы такую же как в воде и совершают плавниками работу в единицу времени такую же как в воде.

### Вопрос №2:

С какой установившейся скоростью будет двигаться удильщик в супер-газе в рамках первой модели?

### Вопрос №3:

С какой установившейся скоростью будет двигаться удильщик в супер-газе в рамках второй модели?

### Возможное решение.

#### Вопрос №1

Столб воды высотой 10 метров создаёт давление примерно в одну атмосферу. Тогда столб воды в 2 км создаст давление примерно в 200 атмосфер. Учтём ещё одну атмосферу, создаваемую воздухом.  $PV = \nu RT = \frac{m}{\mu} RT \rightarrow \rho = \frac{P\mu}{RT} = \frac{(200+1)*10^5*0.018}{8.31*(273+4)} = 157.2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ . Такой ответ получается при  $g=10 \text{ м/с}^2$ . Если брать  $g=9.8 \text{ м/с}^2$  и не учитывать давление воздуха, то ответ будет  $152,9 \text{ кг/м}^3$ .

#### Вопрос №2

Оценим изменение импульса рыбы в процессе движения. С одной стороны происходит уменьшение импульса за счёт сопротивления среды:  $\Delta p_1 = -F_{\text{сопр}} \Delta t = -k\rho v \Delta t$ . С другой стороны, происходит увеличение импульса за счёт отбрасывания среды при каждом движении плавниками:  $\Delta p_2 = \Delta N m (v_0 - v) = \Delta N \rho V (v_0 - v)$ , где  $\Delta N$  — количество гребков за время  $\Delta t$  (тогда  $\frac{\Delta N}{\Delta t}$  — частота гребков),  $V$  — объём жидкости или газа, захватываемый плавниками,  $v_0$  — скорость плавников относительно тела рыбы. При установившемся движении  $\Delta p_1 + \Delta p_2 = 0$ .

Получаем:  $k\rho v \Delta t = \Delta N * \rho V (v_0 - v)$ . (\*)

Отсюда  $v = \frac{v_0}{\frac{k\Delta t}{V\Delta N} + 1}$ . Как видно скорость установившегося движения рыбы в этой модели не зависит от плотности вещества, значит не меняется. Ответ:  $43 \text{ мм/с}$ .

**Вопрос №3:** соотношение (\*) из вопроса 2 остаётся справедливым, однако теперь  $\frac{\Delta N}{\Delta t}$  может меняться. Рыба движется с установившейся скоростью, значит ее кинетическая энергия не изменяется, как и потенциальная. В таком случае за счет совершения рыбой работы ее внутренняя энергия тратится на компенсацию работ двух внешних сил – силы сопротивления воды и реактивной силы. Причем, так как скорость постоянна, то действующие на рыбу силы должны друг друга компенсировать, поэтому  $F_p = F_{\text{сопр}} = k\rho v$ .

$$P - F_{\text{сопр}} v - F_p (v_0 - v) = 0$$

$$P = F_{\text{сопр}} v_0 = k\rho v v_0 \quad (**)$$

$$k\rho_1 v_1 v_0 = k\rho_2 v_2 v_0 \rightarrow v_2 = v_1 \frac{\rho_1}{\rho_2} = 0.043 * \frac{1000}{157.2} = 0,27 \text{ м/с}.$$

## Критерии оценивания.

| №  | Критерий                                                                                                         | Кол-во баллов |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 1  | Записано уравнение состояния идеального газа                                                                     | 0,5           |
| 2  | Выведено выражение для плотности водяного пара                                                                   | 1             |
| 3  | Ответ 1: 150-160 кг/м <sup>3</sup>                                                                               | 1             |
| 4  | Записано изменение импульса за счет силы сопротивления или указано, что сила сопротивления равна реактивной силе | 1             |
| 5  | Записано изменение импульса за счет движения плавников или записана формула реактивной силы                      | 1             |
| 6  | Вывод выражения (*) или аналогичного                                                                             | 1             |
| 7  | Ответ 2: (0,043 м/с )                                                                                            | 1             |
| 8  | Использована формула мощности $P=Fv$                                                                             | 0,5           |
| 9  | Верно записан закон сохранения энергии (работа рыбы идет на компенсацию работ двух внешних сил)                  | 1             |
| 10 | Вывод выражения (**)                                                                                             | 1             |
| 11 | Ответ 3: (0,27 м/с)                                                                                              | 1             |
|    | Итого                                                                                                            | 10            |

Если посчитано неверное значение плотности, баллы снимаются только за пункты 1-2.

Альтернативный расчёт вопроса 2 может предполагать, что плавники испытывают сопротивление, аналогичное тому, что испытывает удильщик в целом. Тогда вместо выражения  $\Delta N * \rho V(v_0 - v)$  может быть записано  $k_1 \rho(v_0 - v) * \Delta t$ , и ответ будет тем же.

### Задача №3

У экспериментатора Глюка были два теплоизолированных сосуда, в каждом из которых находилось «неизвестное» вещество одинаковой массы  $m$ , но в первом сосуде оно было в жидком агрегатном состоянии, а во втором – в твёрдом. Температуры вещества в этих сосудах равны  $T_1 = 85^\circ\text{C}$  и  $T_2 = -13^\circ\text{C}$  соответственно. Глюк провёл следующий эксперимент: сначала из первого сосуда во второй перелил порцию жидкости массой  $\Delta m$ . После установления теплового баланса оказалось, что масса вещества в твёрдом состоянии во втором сосуде равна  $\Delta m$ . Тогда Глюк взял этот кусок твёрдого вещества из второго сосуда и поместил в первый. После установления теплового баланса в первом сосуде оказалось, что вещества в твёрдом состоянии не осталось ни в одном из сосудов, а температуры в них стали равны.

Удельные теплоёмкости вещества в жидком и твёрдом состояниях равны  $c_t = 4,2 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot^\circ\text{C}}$  и  $c_{\text{ж}} = 2,1 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot^\circ\text{C}}$  соответственно, а удельную теплоту плавления вещества –  $\lambda = 330 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ .

### Вопрос №1

Определите температуру  $T_{\text{пл}}$  плавления/кристаллизации исследуемого вещества.

### Вопрос №2

Определите, какую массовую часть вещества Глюк перелил из первого сосуда во второй? То есть найдите значение  $x = \frac{\Delta m}{m}$ .

### Вопрос №3

Предположите с каким веществом проводил эксперименты Глюк.

**Возможное решение.**

### Вопрос №1:

Уравнение теплового баланса между начальным и конечным состояниями системы:

Уравнение теплового баланса для первого процесса:

$$c_{\text{ж}} \Delta m (T_1 - T_{\text{пл}}) = c_{\text{т}} m (T_{\text{пл}} - T_2) + \lambda (m - \Delta m)$$

Уравнение теплового баланса для второго процесса:

$$c_{\text{ж}} (m - \Delta m) (T_1 - T_{\text{пл}}) = \lambda \Delta m$$

Сложив два уравнения получим:

$$c_{\text{ж}} m (T_1 - T_{\text{пл}}) = c_{\text{т}} m (T_{\text{пл}} - T_2) + \lambda m$$

Откуда:

$$T_{\text{пл}} = \frac{c_{\text{ж}} T_1 + c_{\text{т}} T_2 - \lambda}{c_{\text{ж}} + c_{\text{т}}} \approx 0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

### Вопрос №2:

Перепишем уравнение теплового баланса для второго процесса с учетом того, что  $T_{\text{пл}} = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$c_{\text{ж}} (m - \Delta m) T_1 = \lambda \Delta m$$

Откуда:

$$x = \frac{c_{\text{ж}} T_1}{\lambda + c_{\text{ж}} T_1} \approx 0,52$$

Можно было использовать и уравнение теплового баланса для первого процесса, в этом случае получилось бы более длинная формула, но с таким же численным значением.

### Вопрос №3:

Учитывая значения теплоемкостей, теплоты плавления и температуры плавления можно смело предположить, что речь идет о воде.

**ВАЖНО:** В задаче перепутаны численные значения теплоемкостей  $c_{\text{т}}$  и  $c_{\text{ж}}$ .

Если ребенок решал задачу с  $c_{\text{ж}} = 4,2 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$  и  $c_{\text{т}} = 2,1 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ , то получаются ответы, приведённые в решении. За такое решение ставим баллы согласно разбалловке.

Если ребенок использовал данные задачи  $c_{\text{т}} = 4,2 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$  и  $c_{\text{ж}} = 2,1 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ , то получаются ответы:

Вопрос 1:  $T_{\text{пл}} = \frac{c_{\text{ж}} T_1 + c_{\text{т}} T_2 - \lambda}{c_{\text{ж}} + c_{\text{т}}} \approx -32,7 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

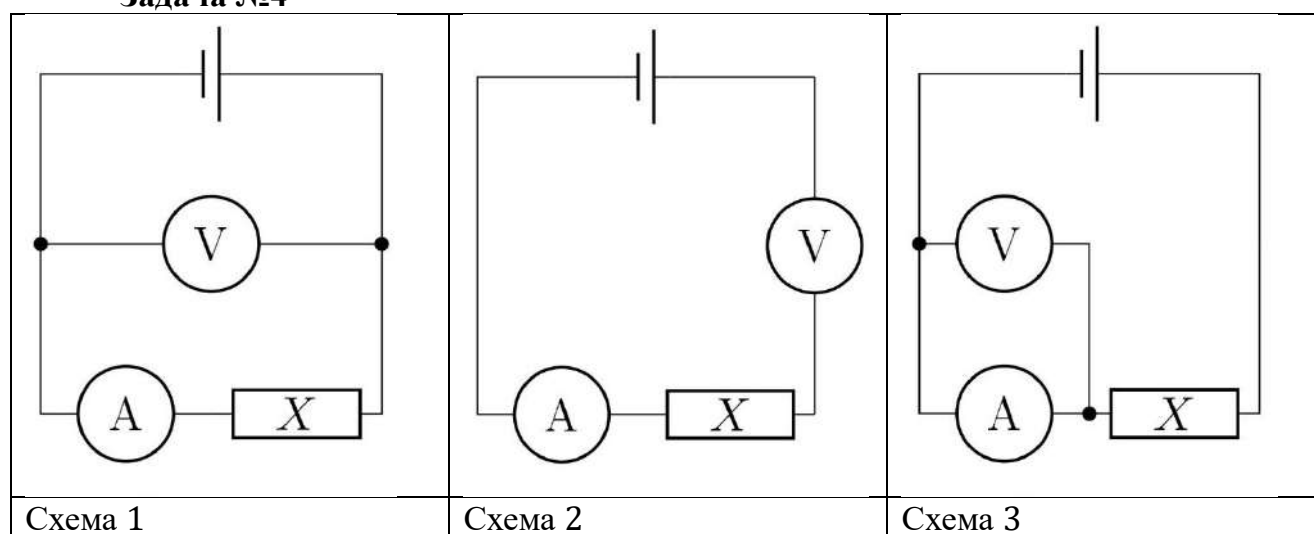
Вопрос 2:  $x = \frac{c_{\text{ж}} (T_1 - T_{\text{пл}})}{\lambda + c_{\text{ж}} (T_1 - T_{\text{пл}})} = 0,43$

Вопрос 3: засчитывается автоматически.

## Критерии оценивания.

| № | Критерий                                                                                                                                                                                           | Кол-во баллов |
|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 1 | Записаны два уравнения теплового баланса (для первого и второго переливаний) – 2+2 балла<br>Или записан закон сохранения внутренней энергии для начального и конечного состояний системы – 4 балла | 4             |
| 2 | Получено правильное выражения для температуры плавления                                                                                                                                            | 1             |
| 3 | Получен правильный ответ для температуры плавления                                                                                                                                                 | 1             |
| 4 | Температура плавления подставлена в одно из уравнений теплового баланса                                                                                                                            | 1             |
| 5 | Получено верное выражение $x = \frac{c_{ж}T_1}{\lambda + c_{ж}T_1}$ или аналогичное                                                                                                                | 1             |
| 6 | Получен верный численный ответ $x \approx 0,52$                                                                                                                                                    | 1             |
| 7 | Сделано предположение, что речь идет о воде. Предположение засчитывается, даже если не найдена температура плавления                                                                               | 1             |
|   | Итого                                                                                                                                                                                              | 10            |

### Задача №4



В лабораторной работе были исследованы свойства элемента  $X$ , сопротивление которого зависит от протекающего тока как  $R_X(I) = R_0(1 + \alpha I^2)$ , коэффициенты  $R_0$  и  $\alpha$  неизвестны. В эксперименте использовались неидеальные вольтметр и амперметр, а также идеальный источник постоянного напряжения  $U_0$ . Для определения характеристик  $X$  было собрано три электрические цепи, изображённые на схемах выше. Показания вольтметра и амперметра для каждой схемы известны, будем обозначать их  $U_n$  и  $I_n$ , где  $n$  – номер схемы.

**Вопрос №1:** Определите напряжение источника  $U_0$ .

**Вопрос №2:** Определите значения сопротивлений  $R_V$  и  $R_A$  аналогичным образом.

**Вопрос №3:** Определите коэффициенты  $R_0$  и  $\alpha$ .

Численные значения напряжений и токов принять следующими.

|       |       |       |        |        |        |
|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| $U_1$ | $U_2$ | $U_3$ | $I_1$  | $I_2$  | $I_3$  |
| 9,8 В | 9,5 В | 2,0 В | 1,0 мА | 50 мкА | 1,0 мА |

**Возможное решение.**

**Вопрос №1:**

Так как в схеме 1 вольтметр подключен к клеммам источника, то

$$U_0 = U_1 = 9,8 \text{ В}$$

**Вопрос №2:**

В схеме 2 амперметр и вольтметр соединены последовательно через элемент  $X$ , поэтому токи через них равны. Значит,  $R_V = \frac{U_2}{I_2} = 190 \text{ кОм}$

В схеме 3 амперметр и вольтметр соединены параллельно, поэтому напряжения на них равны. Значит,  $R_A = \frac{U_3}{I_3} = 2 \text{ кОм}$

**Вопрос №3:**

Запишем закон Ома для участка цепи на схемах 1 и 2:

$$\begin{cases} U_0 = I_1 R_A + I_1 R_0 (1 + \alpha I_1^2) \\ U_0 = U_2 + I_2 R_A + I_2 R_0 (1 + \alpha I_2^2) \end{cases}$$

Подставляя известные для  $U_0$ ,  $R_V$  и  $R_A$  выражения, преобразуем систему к виду

$$\begin{cases} \frac{U_1}{I_1} - \frac{U_3}{I_3} = R_0 (1 + \alpha I_1^2) \\ \frac{U_1 - U_2}{I_2} - \frac{U_3}{I_3} = R_0 (1 + \alpha I_2^2) \end{cases}$$

Решение этой системы с двумя неизвестными находится стандартным образом.

Пример записи окончательного ответа:

$$R_0 = U_1 \frac{I_1^3 - I_2^3}{I_1 I_2 (I_1^2 - I_2^2)} - U_2 \frac{I_1^2}{I_2 (I_1^2 - I_2^2)} - \frac{U_3}{I_3} = 4,0 \text{ кОм}$$

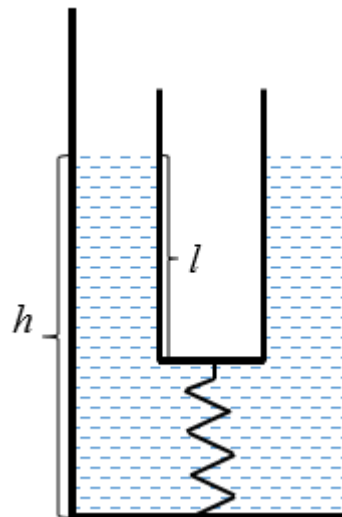
$$\alpha = \frac{1}{I_2 R_0} \left( \frac{U_2}{I_1^2 - I_2^2} - \frac{U_1}{I_1 (I_1 + I_2)} \right) = 0,95 \text{ мА}^{-2}$$

### Критерии оценивания

| № | Критерий                                                                                  | Кол-во баллов |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 1 | Ответ 1: $U_0 = 9,8 \text{ В}$                                                            | 1             |
| 2 | Записан закон Ома для линейного участка цепи.                                             | 1             |
| 3 | Ответ 2.1: $R_V = \frac{U_2}{I_2} = 190 \text{ кОм}$                                      | 1             |
| 4 | Ответ 2.2: $R_A = \frac{U_3}{I_3} = 2 \text{ кОм}$                                        | 1             |
| 5 | Из законов Ома (правил Кирхгофа) верно получены 2 уравнения для поиска $R_0$ и $\alpha$ . | 2×1           |
| 6 | Получены правильные выражения для $R_0$ и $\alpha$ .                                      | 2×1           |
| 7 | Численный ответ $R_0 = 4,0 \text{ кОм}$                                                   | 1             |
| 8 | Численный ответ $\alpha = 0,95 \text{ мА}^{-2}$                                           | 1             |
|   | Итого                                                                                     | 10            |

### Задача №5

Для исследования упругих свойств пружинки ученик собрал экспериментальную установку. Ко дну широкого цилиндрического сосуда высотой  $H = 30$  см он прикрепил пружинку. Другой конец пружинки присоединил ко дну узкого цилиндрического тонкостенного сосуда длиной  $L = 15$  см. Когда в широкий сосуд наливают воду, узкий сосуд всплывает и растягивает пружинку (см. рис.). В широкий сосуд налили такое количество воды, что узкий сосуд устойчиво плавал в вертикальном положении, растянув пружинку. После этого ученик стал доливать в широкий сосуд воду с постоянной скоростью  $\mu = 100$  мл/мин. Каждую минуту он измерял уровень воды в широком сосуде  $h$ , а так же глубину погружения узкого сосуда  $l$  с точностью до миллиметра. Полученные им данные представлены в таблице ниже.



|        |    |     |     |     |     |
|--------|----|-----|-----|-----|-----|
| t, мин | 0  | 1   | 2   | 3   | 4   |
| h, мм  | 93 | 114 | 133 | 154 | 173 |
| l, мм  | 40 | 70  | 50  | 100 | 90  |

Используя данные таблицы и зная, что площадь поперечного сечения узкого сосуда равна  $S = 25$  см<sup>2</sup>, а длина пружинки в недеформированном состоянии  $x_0 = 5$  см, определите:

1. Жёсткость пружины.
2. Массу узкого сосуда.
3. Постройте график зависимости уровня воды в широком сосуде от времени, начиная с момента начала измерений (данные занесённые в таблицу) до 10 минут эксперимента.

Плотность воды считать равной  $\rho = 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, ускорение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>. Объёмом стенок узкого сосуда и объёмом пружинки можно пренебречь.

### Возможное решение

Для ответа на первый вопрос составим уравнение равновесия для узкого сосуда. На него действуют следующие силы:

- сила тяжести сосуда  $F_1 = Mg$ ;
- сила Архимеда  $F_A = \rho g S l$ ;
- сила упругости пружины  $F_y = k \Delta x = k(x - x_0) = k(h - l - x_0)$ .

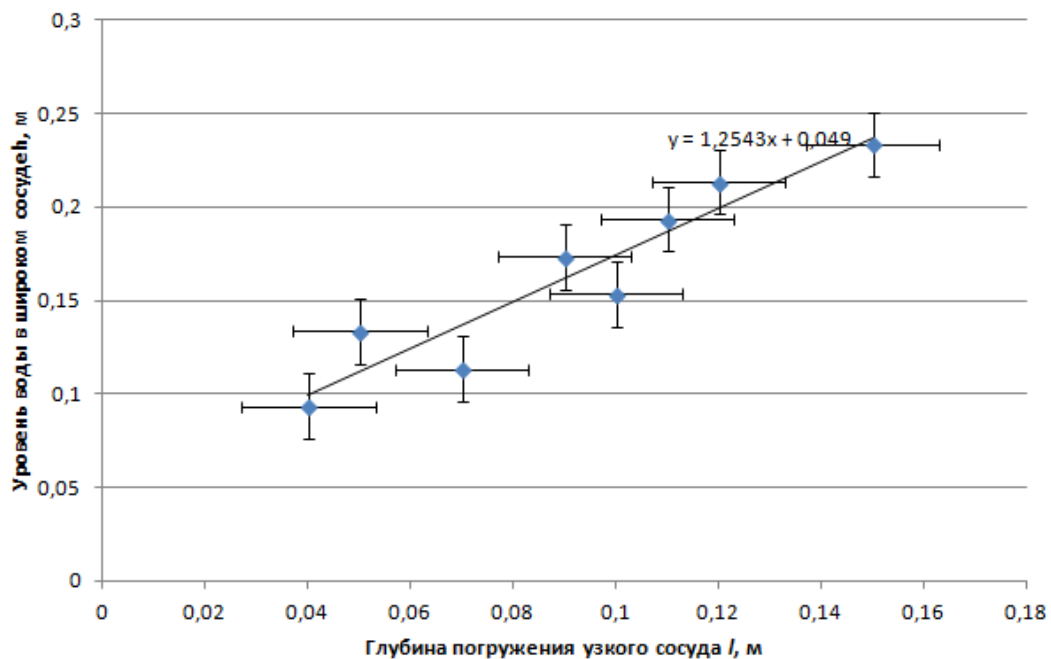
Запишем условие равновесия:

$$Mg + k(h - l - x_0) = \rho g S l$$

После преобразования этого выражения получаем функцию зависимости  $h(l)$ .

$$h = \left( \frac{\rho g S}{k} + 1 \right) l + \left( x_0 - \frac{Mg}{k} \right) \quad (1)$$

Построим график зависимости  $h(l)$ . Понимая по полученному уравнению, что график должен быть прямой линией, а в исходных измерениях содержатся погрешности, проведем усредняющую прямую.



Тогда угловым коэффициентом наклона графика  $\alpha$  даст значение множителя перед  $l$ , из него в свою очередь можно выразить коэффициент жёсткости пружины.

$$k = \frac{\rho g S}{\alpha - 1} = 100 \frac{\text{Н}}{\text{м}} \quad (2) - \text{ответ на первый вопрос.}$$

Так же точка пересечения графика с осью  $h$  – это значение второго слагаемого в формуле (1). Назовём его  $\beta$ . Зная величину  $\beta$  и значение коэффициента жёсткости  $k$  можно выразить массу узкого сосуда.

$$M = \frac{k(x_0 - \beta)}{g} = 10 \text{ г} \quad (3) - \text{ответ на второй вопрос.}$$

Для ответа на третий вопрос нужно продлить таблицу данных, используя формулу (1). Но при этом необходимо следить, чтобы глубина погружения  $l$  была меньше длины узкого сосуда  $L$ . Это произойдёт на 7 минуте эксперимента.

При помощи формулы (1) можно вычислить какую уровень воды  $h_0$  будет в большом сосуде при полном погружении узкого сосуда:

$$h_0 = \left( \frac{\rho g S}{k} + 1 \right) L + \left( x_0 - \frac{Mg}{k} \right) = 236,5 \text{ мм}$$

Продляя график до этого значения, можно получить точку, которая соответствует началу перелива воды вовнутрь узкого сосуда. Будем считать, что происходит это очень быстро, поэтому дальше график опускается вертикально вниз до нового уровня  $h_1$ .

Для дальнейшего корректного построения графика необходимо определить площадь поперечного сечения большого сосуда  $S_0$ . Сделать это можно, проанализировав данные из таблицы. Объём сосуда, занятый водой складывается из двух слагаемых: объём налитой воды  $V$  и объём погруженной части узкого сосуда. Запишем это равенство для двух моментов:  $h_1 S_0 = V_1 + l_1 S$  и  $h_2 S_0 = V_2 + l_2 S$

$$\text{Вычтем из конечного уравнения начальное и получим: } \Delta h S_0 = \Delta V + \Delta l S$$

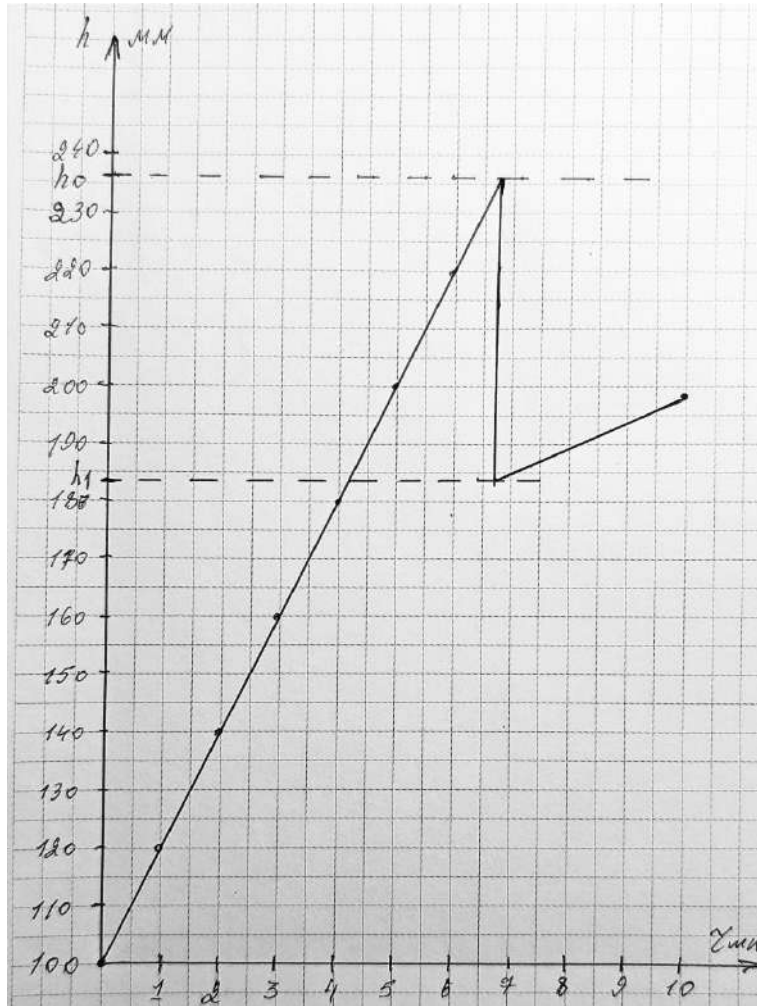
$$\text{Тогда площадь большого сосуда равна: } S_0 = \frac{\Delta V + \Delta l S}{\Delta h} = \frac{\mu \Delta \tau + \Delta l S}{\Delta h} = 70 \text{ см}^2$$

Теперь легко можно определить новый уровень  $h_1$ . Зная объём воды  $V_6$ , залившийся в узкий сосуд можно вычислить понижение уровня воды в широком сосуде.

$$h_1 = h_0 - \frac{LS}{S_0} = 183 \text{ мм}$$

Новый участок графика нужно начинать от этой точки и рассчитывать по следующей формуле:

$$h(t) = h_1 + \frac{\mu \Delta \tau}{S_0}, \text{ для момента времени 10 минут } h(10) = 197 \text{ мм.}$$



### Критерии оценивания

| № | Критерий                                                                                                                                                                       | Балл |
|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1 | Правильная запись условия равновесия для узкого сосуда                                                                                                                         | 1    |
| 2 | Правильный вид зависимости $h(l)$                                                                                                                                              | 1    |
| 3 | Построен график зависимости $h(l)^*$                                                                                                                                           | 1    |
| 4 | Определена жёсткость пружины через угловой коэффициент в пределах от 90 Н/м до 110 Н/м. (Если получены результаты в пределах от 80 Н/м до 120 Н/м, то ставится 0,5 балла)      | 1    |
| 5 | Определена масса узкого сосуда по точке пересечения графика с осью $h$ , в пределах от 9 г до 11 г (Если получены результаты в пределах от 8 г до 12 г, то ставится 0,5 балла) | 1    |
| 6 | Культура построения графика $h(\tau)$ (достаточно большой, подписаны оси, удачный масштаб осей)                                                                                | 1    |

|    |                                                                                     |     |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7  | Получение дополнительных точек от 4 до 6 минут                                      | 0,5 |
| 8  | Продemonстрировано понимание, что произойдет перелив воды в узкий сосуд             | 1   |
| 9  | Получение уровня воды $h_1$ после окончания перелива                                | 1   |
| 10 | Получение нового уравнения зависимости $h(\tau)$ после того, как узкий сосуд утонул | 1   |
| 11 | Построение третьего участка графика.                                                | 0,5 |
|    | Итого                                                                               | 10  |

\*В случае нахождения ответов на первый и второй вопрос путём решения системы уравнений баллы за 3 пункт не выставляются.