



Республиканская физическая олимпиада 2023 года (3 этап)

Экспериментальный тур

Решения задач 9 класс (для жюри)

Задания экспериментального тура данной олимпиады предоставляют для участников большие возможности для самостоятельного выбора параметров установок, диапазонов исследования, методов измерений. Иными словами – проявить свои творческие способности. Кроме того, результаты измерений сильно зависят от предоставленного оборудования, которое может различаться в разных областях нашей Республики.

Поэтому, относитесь к приведенным ниже результатам, как к ориентировочным. Желательно (или даже обязательно) провести собственные измерения. Поэтому здесь приводятся основные теоретические положения и результаты измерений, полученные авторами данных заданий. Методы обработки результатов измерений являются в большинстве своем, стандартными, поэтому подробно не описываются.



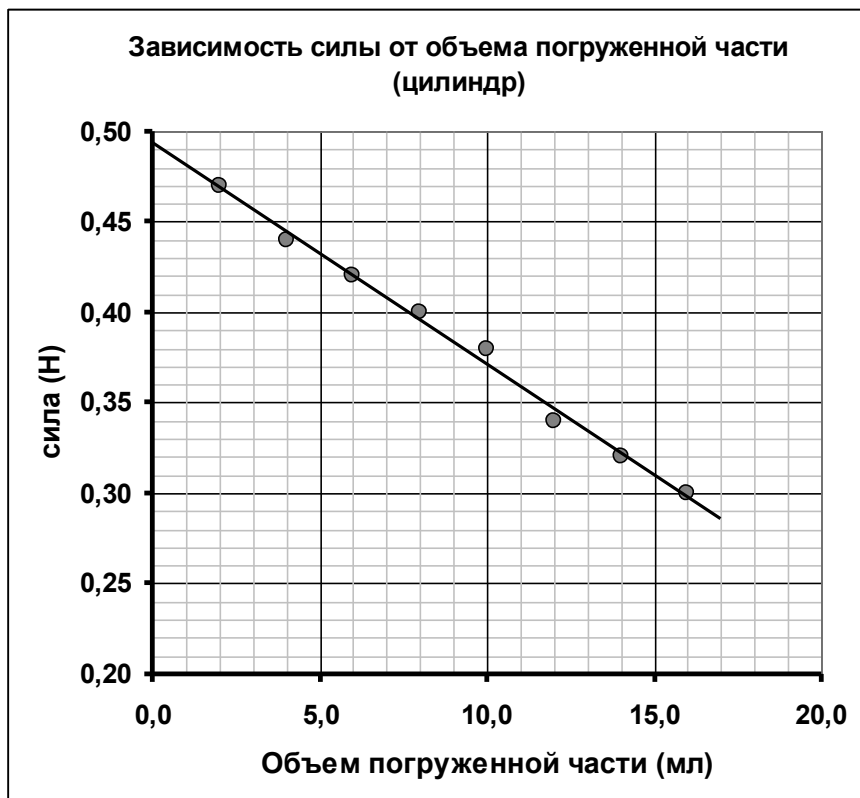
Задание 9-1. Архимед и объем шарового сегмента. Решение.

Часть 1. Проверка закона Архимеда.

1.1 Измеренная зависимость показаний динамометра F от объема погруженной части цилиндра V приведена в таблице 1 и на графике.

Таблица 1.

V , мл	F , Н
2,0	0,47
4,0	0,44
6,0	0,42
8,0	0,40
10,0	0,38
12,0	0,34
14,0	0,32
16,0	0,30



1.2 Теоретическая зависимость имеет очевидный вид

$$F = mg - \rho g V. \quad (1)$$

1.3 Так как полученная зависимость близка к линейной, то она подтверждает справедливость закона Архимеда.

1.4 Коэффициент наклона прямой на графике зависимости $F(V)$ равен

$$a = -(0,012 \pm 0,003) \frac{\text{Н}}{\text{мл}}. \quad (2)$$

Сравнивая с теоретической формулой (1), получаем, что

$$a = -\rho g. \quad (3)$$

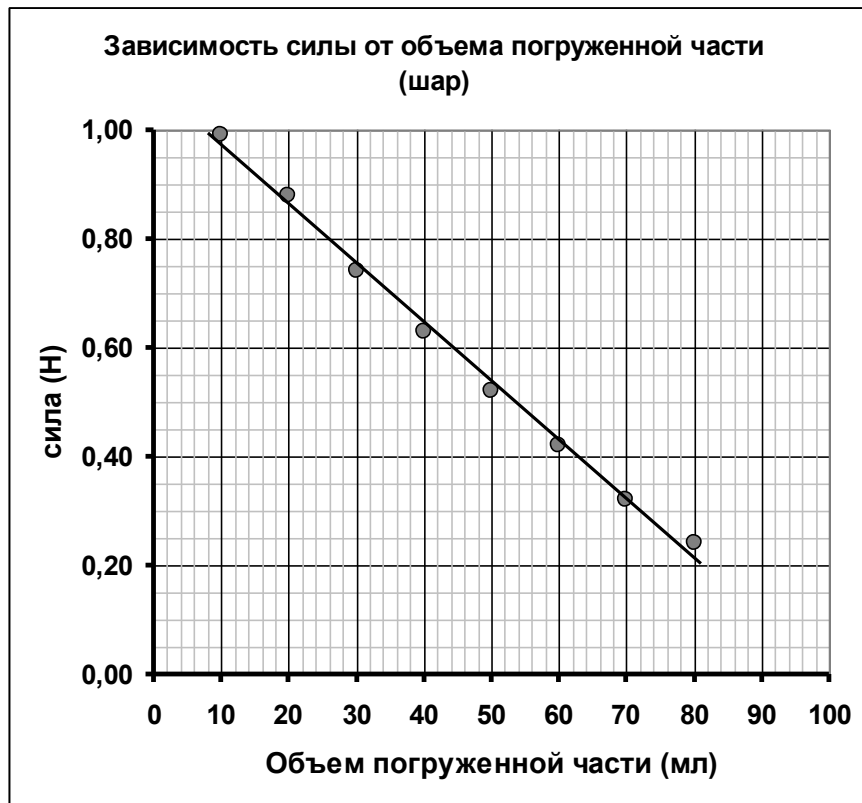
Откуда находим (все единицы надо перевести в единицы СИ), что плотность воды равна

$$\rho = -\frac{a}{g} = (1,2 \pm 0,3) \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}. \quad (4)$$

1.5 Аналогичные измерения для шара дали результаты, приведенные в Таблице 2 и на соответствующем графике.

Таблица 2.

V, мл	F, Н
10	0,99
20	0,88
30	0,74
40	0,63
50	0,52
60	0,42
70	0,32
80	0,24



1.6 Коэффициент наклона графика равен

$$a = -(0,011 \pm 0,001) \frac{\text{Н}}{\text{мл}}. \quad (5)$$

Откуда находим плотность воды

$$\rho = -\frac{a}{g} = (1,1 \pm 0,1) \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}. \quad (6)$$

Часть 2. Объем шарового сегмента.

2.1 Результаты градуировочных измерений приведены в Таблице 3 и на графике.

Таблица 3.

V, мл	H, см
100	2,2
200	3,8
300	5,8
400	7,5
500	9,3



2.2 Параметры зависимости $V = kh + c$ имеют следующие численные значения

$$k = 55,9 \text{ см}^2$$

$$c = -19,3 \text{ см}^3$$

(7)

Параметр k имеет смысл площади поперечного сечения стакана.

2.3 Для измерения глубины погружения и объема сегмента следует измерять следующие величины по миллиметровой шкале:

h_1 - высота уровня воды в стакане;

h_2 - высота, на которой находится нижняя точка шара.

Тогда объем погруженного сегмента шара рассчитывается по формуле

$$V = k(h_1 - h_0) \quad (8)$$

Где h_0 - высота уровня воды в стакане без погруженного шара.

Высота сегмента равна

$$h = h_1 - h_2. \quad (9)$$

Результаты измерений этих величин при различных степенях погружения шарика в стакан, а также результаты необходимых расчетов приведены в Таблице 4. В эксперименте $h_0 = 6,1 \text{ см}$

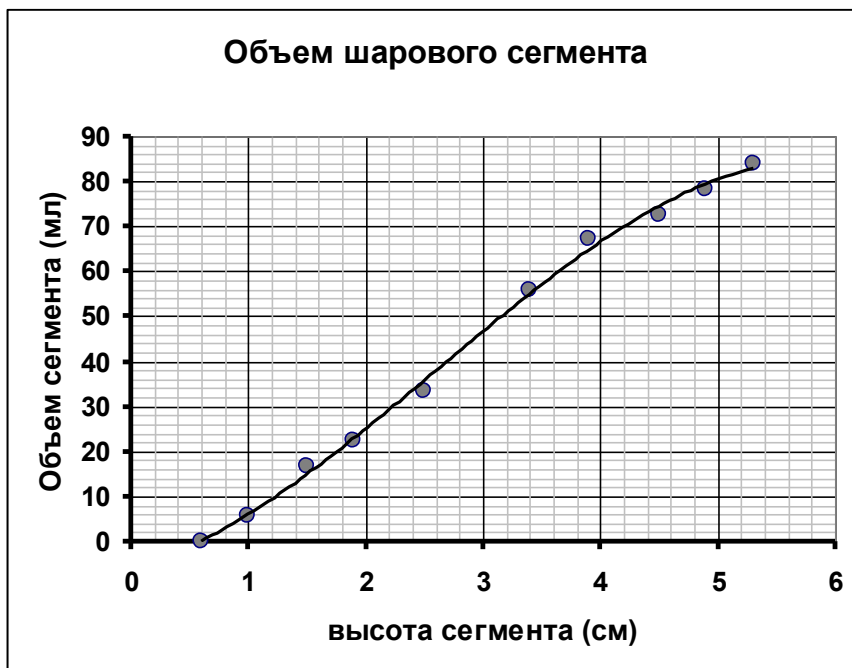
Таблица 4.

h_1 , см	h_2 , см	$h = h_1 - h_2$	$(h_1 - h_0)$	V , мл		ξ	Y
6,1	5,5	0,6	0,0	0,00		0,222	0,000
6,2	5,2	1,0	0,1	5,59		0,370	0,659
6,4	4,9	1,5	0,3	16,77		0,556	0,879
6,5	4,6	1,9	0,4	22,36		0,704	0,730
6,7	4,2	2,5	0,6	33,54		0,926	0,633
7,1	3,7	3,4	1,0	55,90		1,259	0,570
7,3	3,4	3,9	1,2	67,08		1,444	0,520
7,4	2,9	4,5	1,3	72,67		1,667	0,423
7,5	2,6	4,9	1,4	78,26		1,815	0,384
7,6	2,3	5,3	1,5	83,85		1,963	0,352

Экспериментальный тур.

9 класс. Решения задач. Бланк для жюри.

График полученной зависимости показан на рисунке.



2.4 Для расчетов коэффициентов в формуле для объема сегмента $V = \pi R^3(a\xi^2 + b\xi^3)$, представим ее в линеаризованном виде

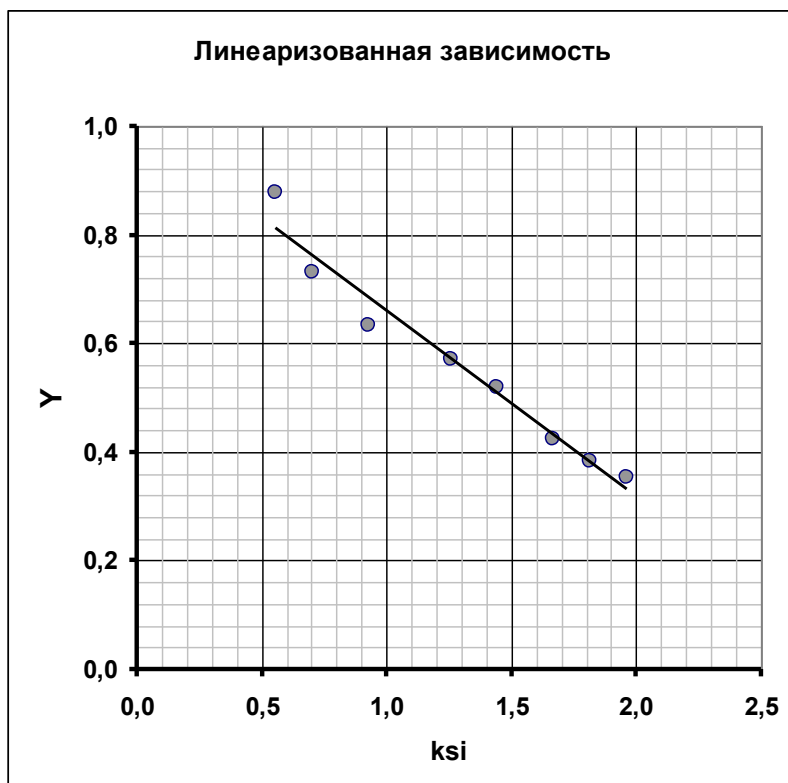
$$Y = \frac{V}{\pi R^3 \xi^2} = a + b\xi \quad (10)$$

где R - радиус шара, $\xi = \frac{h}{R}$.

Результаты расчетов величин ξ и Y приведены в двух последних столбцах таблицы 4. График этой линеаризованной зависимости близок к линейному. По этому графику находим, что

$$a \approx 1, \quad b \approx -\frac{1}{3}.$$

Заметим, что эти значения можно найти по двум известным значениям : $Y = \frac{2}{3}$ при $\xi = 1$ (шарик погружен на половину);
 $Y = \frac{4}{3}$ при $\xi = 2$ (шарик погружен полностью).



Задание 9-2. Уравнение теплового баланса. (Решение).

Часть 1. Смешение воды.

1.1 Измеренные значения температур:

Горячая вода $t_{гор.} = 70,2^{\circ}$;

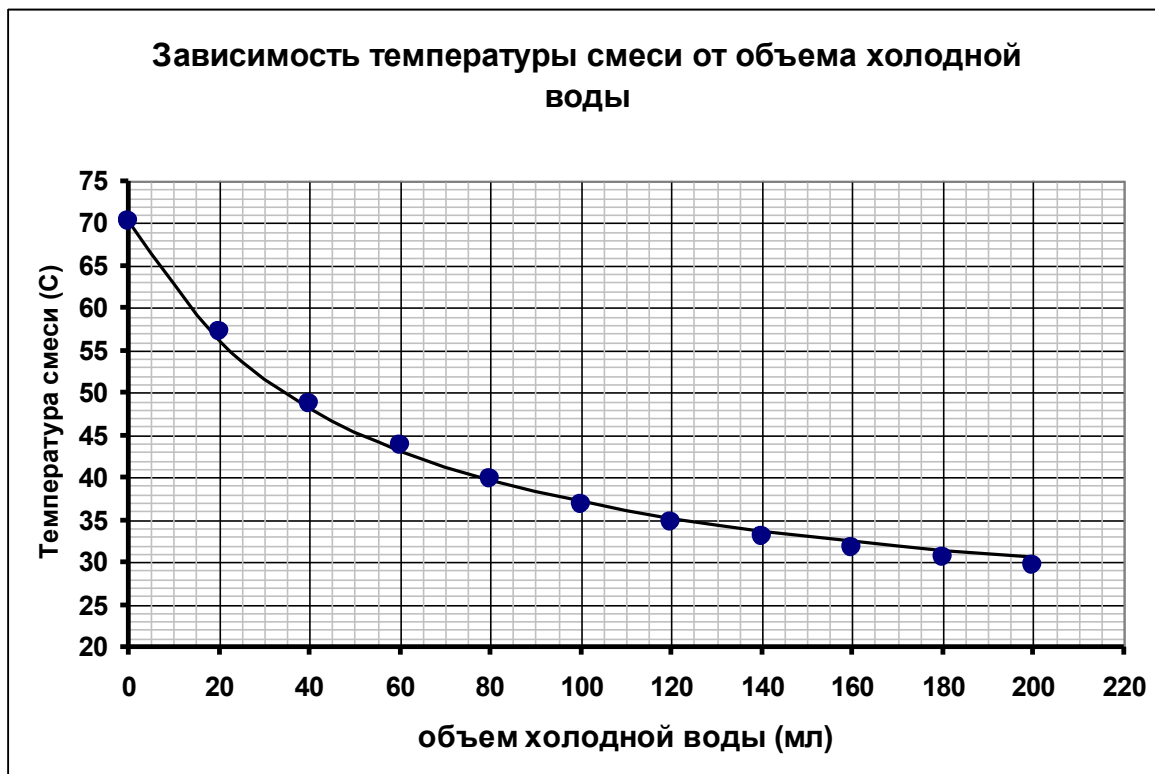
Холодная вода $t_{хол.} = 20,6^{\circ}$.

1.2 Измеренная зависимость температуры воды в калориметре t от объема налитой в калориметр холодной воды V Приведена в Таблице 1.

Таблица 1.

V, мл	$t, ^{\circ}C$	V/V ₀	f(x)		T теор
0	70,2	0	0,00		70,2
20	57,3	0,4	0,35		56,0
40	48,8	0,8	0,76		48,2
60	43,8	1,2	1,14		43,1
80	39,8	1,6	1,58		39,7
100	36,9	2	2,04		37,1
120	34,7	2,4	2,52		35,2
140	33,1	2,8	2,97		33,7
160	31,8	3,2	3,43		32,4
180	30,6	3,6	3,96		31,4
200	29,7	4	4,45		30,5

1.3 График полученной зависимости показан на рисунке.



1.4 Пренебрегая теплоемкостью калориметра и потерями теплоты в окружающий воздух, запишем уравнение теплового баланса (количество теплоты, отданное горячей водой, равно количеству теплоты, полученной холодной водой):

$$c\rho V_0(t_{\text{гор.}} - t) = c\rho V(t - t_{\text{хол.}}). \quad (1)$$

Здесь c - удельная теплоемкость воды, ρ - ее плотность.

Из этого уравнения находим температуру смеси:

$$t = \frac{V_0 t_{\text{гор.}} + V t_{\text{хол.}}}{V_0 + V}. \quad (2)$$

1.5 Результаты расчетов температур по этой формуле приведены в последнем столбце таблицы 1, на графике эта функция изображена сплошной линией.

Видно, что в начальные моменты времени (при высоких температурах) экспериментальные значения оказываются выше теоретических. Это можно объяснить влиянием теплоемкости калориметра, чем мы пренебрегли при выводе формулы (2)

На больших временах (при низких температурах) экспериментальные значения меньше теоретических – это можно объяснить потерями теплоты в окружающую среду.

1.6 Из уравнения (1) непосредственно следует, что искомая линеаризующая функция имеет вид

$$f(t) = \frac{t_{\text{гор.}} - t}{t - t_{\text{хол.}}} = \frac{V}{V_0}. \quad (3)$$

Как следует из этой формулы теоретическое значение коэффициента равно

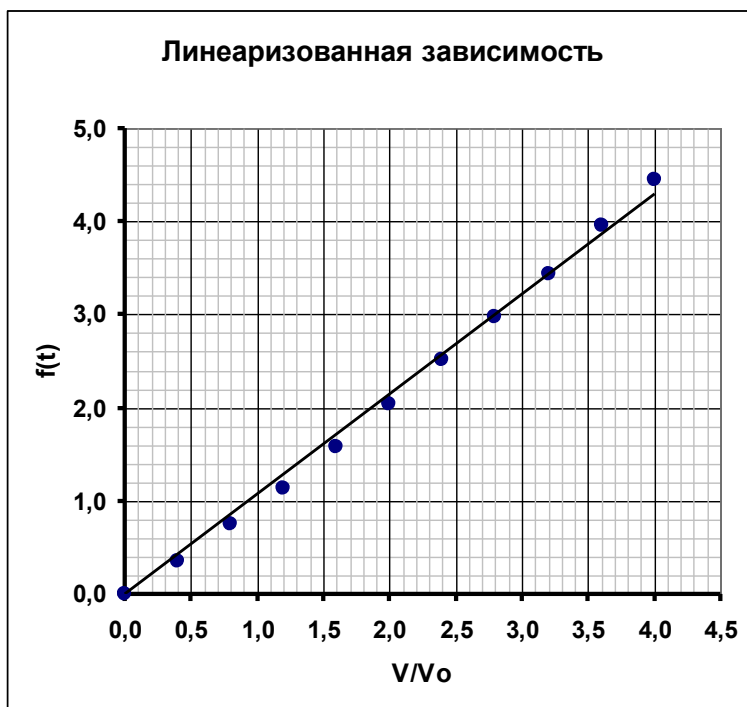
$$A_{\text{теор.}} = 1. \quad (4)$$

1.7 Результаты расчетов функции $f(t)$ также приведены в Таблице 1.

График этой линеаризованной функции показан на следующем рисунке. Значение коэффициента наклона этого графика равно

$$A_{\text{эсп.}} = 1,07. \quad (5)$$

1.8 Основная причина полученного расхождения – потери теплоты. Действительно, потери приводят к уменьшению температуры смеси, как следствие к увеличению введенной функции $f(t)$



Часть 2. Теплообмен с металлическим цилиндром.

2.1 Измеренные значения температур:

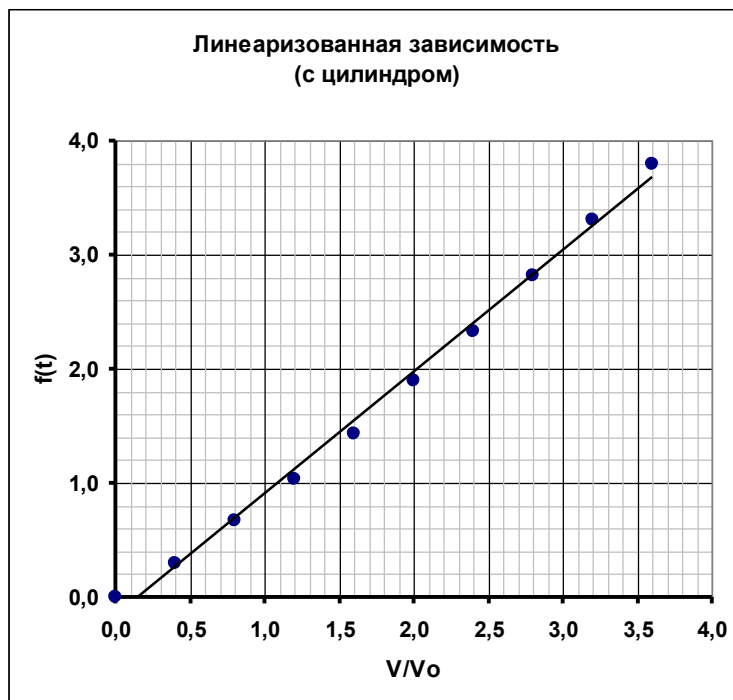
Горячая вода $t_{гор.} = 57,1^\circ$;

Холодная вода $t_{хол.} = 23,5^\circ$.

2.2 Измеренная зависимость температуры воды в калориметре с цилиндром t от объема налитой в калориметр холодной воды V Приведена в Таблице 2.

Таблица 2.

$V, \text{мл}$	$t, ^\circ\text{C}$	$f(x)$
0	57,1	0,00
20	49,4	0,30
40	43,6	0,67
60	40,0	1,04
80	37,3	1,43
100	35,1	1,90
120	33,6	2,33
140	32,3	2,82
160	31,3	3,31
180	30,5	3,80



2.3 В таблице 2 приведены результаты расчетов функции $f(x)$, график этой функции со сглаживающей прямой показан на рисунке. Значение коэффициента наклона этой зависимости

$$A_{\text{эсп.}} = 1,06. \quad (6)$$

2.4 Уравнение теплового баланса с учетом теплоемкости цилиндра имеет вид

$$(c\rho V_0 + C_{\text{цил.}})(t_{\text{гор.}} - t) = c\rho V(t - t_{\text{хол.}}). \quad (7)$$

Тогда линейаризующая функция равна

$$\frac{t_{\text{гор.}} - t}{t - t_{\text{хол.}}} = \frac{1}{1 + \frac{C_{\text{цил.}}}{c\rho V_0}} \frac{V}{V_0}. \quad (8)$$

2.5 Из формулы (8) следует, что коэффициент наклона линейаризованной зависимости должен быть меньше 1. Однако Экспериментально получено, значение большее 1: $A_{\text{эсп.}} = 1,06$. Если формально из формулы (8) найти значение теплоемкости цилиндра, то она окажется отрицательной, что абсурдно! Следовательно, погрешности формулы (8), возникающие из-за пренебрежения потерями теплоты, не позволяют рассчитать теплоемкость цилиндра.



Республиканская физическая олимпиада 2023 года (3 этап)

Экспериментальный тур

Решения задач 10 класс (для жюри)

Задания экспериментального тура данной олимпиады предоставляют для участников большие возможности для самостоятельного выбора параметров установок, диапазонов исследования, методов измерений. Иными словами – проявить свои творческие способности. Кроме того, результаты измерений сильно зависят от предоставленного оборудования, которое может различаться в разных областях нашей Республики.

Поэтому, относитесь к приведенным ниже результатам, как к ориентировочным. Желательно (или даже обязательно) провести собственные измерения. Поэтому здесь приводятся основные теоретические положения и результаты измерений, полученные авторами данных заданий. Методы обработки результатов измерений являются в большинстве своем, стандартными, поэтому подробно не описываются.



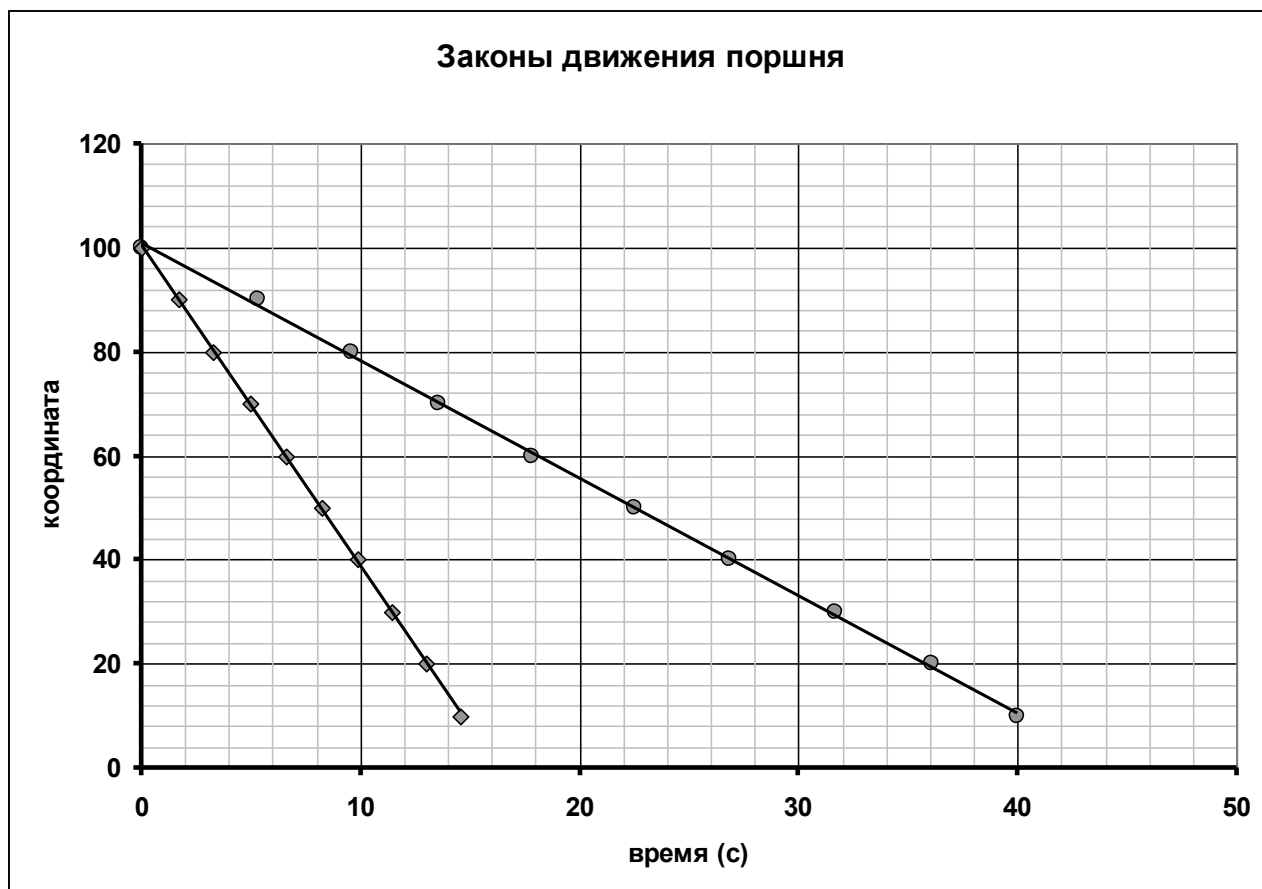
Задание 10-1. Укол. Решение.

1. Результаты измерений времен прохождения меток шкалы для указанных масс грузов приведены в Таблице 1.

Таблица 1.

m=	100 г				200 г			
X (y.e.)	t1	t2	t3	tcp	t1	t2	t3	tcp
100,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	0,000
90,00	5,63	4,86	5,45	5,313	1,66	1,74	1,77	1,723
80,00	10,30	8,33	10,05	9,560	3,25	3,27	3,34	3,287
70,00	14,50	12,27	13,85	13,540	5,00	5,02	5,00	5,007
60,00	18,95	16,20	18,31	17,820	6,63	6,64	6,63	6,633
50,00	23,33	21,13	22,99	22,483	8,24	8,27	8,24	8,250
40,00	27,67	25,43	27,37	26,823	9,86	9,85	9,87	9,860
30,00	32,23	30,27	32,55	31,683	11,54	11,40	11,44	11,460
20,00	36,75	34,84	36,70	36,097	13,08	12,92	13,01	13,003
10,00	40,58	38,87	40,54	39,997	14,95	14,31	14,36	14,540
0,00	43,55	42,15	43,49	43,063	15,68	15,41	15,68	15,590

2. Графики зависимостей координаты от времени показаны на рисунке. Графики построены по средним значениям времен.



Так как графики являются прямыми линиями, то движение поршня с достаточной точностью можно считать равномерным.

Скорости движения численно равны коэффициентам наклона. Значения этих скоростей, рассчитанные по методу наименьших квадратов, и их погрешности оказались следующими:

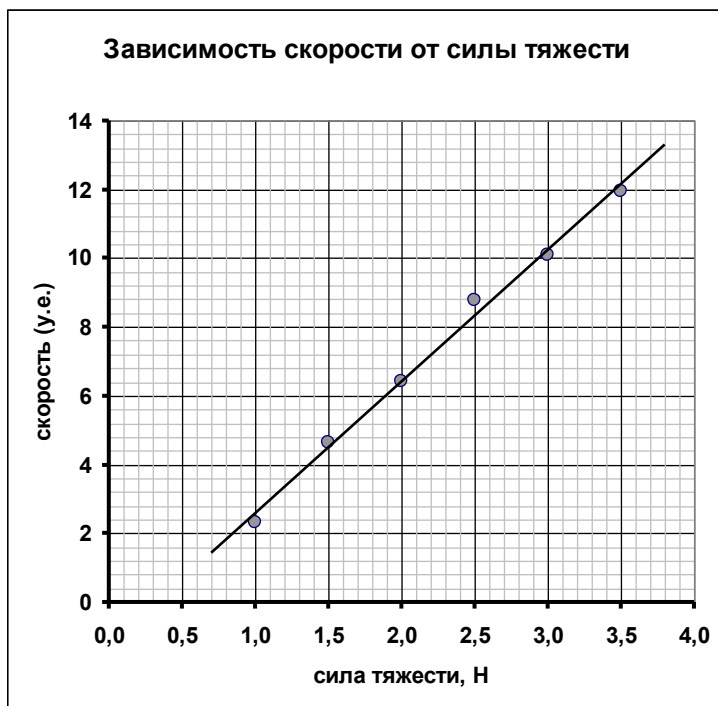
$$\text{Для } m = 100\text{г: } v = (2,30 \pm 0,01) \frac{\text{y.e.}}{\text{с}}$$

$$\text{Для } m = 200\text{г: } v = (6,18 \pm 0,06) \frac{\text{y.e.}}{\text{с}}$$

Таким образом, в обоих случаях относительная погрешность измерения скорости меньше 1%.

3. Результаты измерения средних (по 5 измерениям) времен движения поршня t при различных значениях масс грузов приведены в таблице 2. В последнем столбце таблицы приведены значения скоростей движения поршня, рассчитанные по формуле $v = \frac{100}{t}$.

m, г	t, с	V, y.e./с	mg, Н
100	43,063	2,322	1,00
150	21,567	4,637	1,50
200	15,590	6,414	2,00
250	11,410	8,764	2,50
300	9,903	10,098	3,00
350	8,360	11,962	3,50



Полученная зависимость линейна, но не прямо пропорциональная.

4. Теоретическая модель может быть построена на следующих положениях:

- Скорость протекания воды через иглку пропорциональна разности давлений на концах канала иглы, поэтому давление жидкости в шприце пропорционально скорости вытекания жидкости;
- Давление воды полностью определяется силой тяжести подвешенных грузов, т.к. гидростатическим давлением воды в шприце можно пренебречь;
- Поршень движется равномерно, поэтому сила тяжести, действующая на поршень, уравновешивается силой трения, действующей на поршень, и силой давления жидкости. Эти рассуждения приводят к следующей зависимости скорости от массы подвешенного груза

$$v = C(mg - F_{mp.}) \quad (1)$$

5. По экспериментальной зависимости $v(mg) = amg + b$ с помощью метода наименьших квадратов определяем параметры этой зависимости:

$$a = (3,8 \pm 0,3) \frac{M}{c \cdot H}$$

$$b = -(1,2 \pm 0,7) \frac{M}{c}$$

Сравнивая с формулой, получим, что значение силы трения, лежит в интервале

$$F_{mp.} = \frac{b}{a} = (0,32 \pm 0,17)H.$$

Не смотря на кажущуюся высокую точность измерений, погрешность последнего результата превышает 50%!

Задание 10-2. Как измерить сопротивление раствора? Решение.

Результаты измерений в данном задании могут заметно отличаться от приведенных ниже авторских значений: они зависят от типа мультиметра, концентрации раствора, используемых цилиндров. Поэтому перед проверкой работ настоятельно рекомендует провести эти измерения самостоятельно.

Часть 1. Измерения в тарелке.

1.1 Измерения напряжения можно провести в диапазонах 2V и 20V. В этих диапазонах и при обеих полярностях подключения показания одинаковы и равны $U = 0,47 В$.

1.2 Показания мультиметра в различных диапазонах приведены в Таблице 1. Измерения оказалось возможным провести только при одной полярности подключения.

Таблица 1.

Диапазон измерения	2К	20К	200К	2М	20М
Показания кОм	-0,37	-4,0	-33	-320	-3180

Можно заметить, что показания возрастают примерно пропорционально верхней границе диапазона измерения.

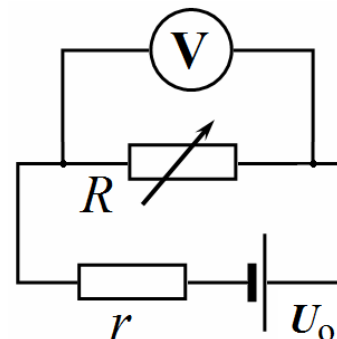
1.3 Показания мультиметра в режиме омметра практически не зависят от расстояния между цилиндрами.

1.4 Возможная схема измерения сопротивления приведена на рисунке. Значение измеряемого напряжения рассчитывается по формуле

$$U = \frac{U_0}{R + r} R. \quad (1)$$

Обычно используется большое внутренне сопротивление $r \gg R$, поэтому

$$R = \frac{U}{U_0} r \quad (2)$$



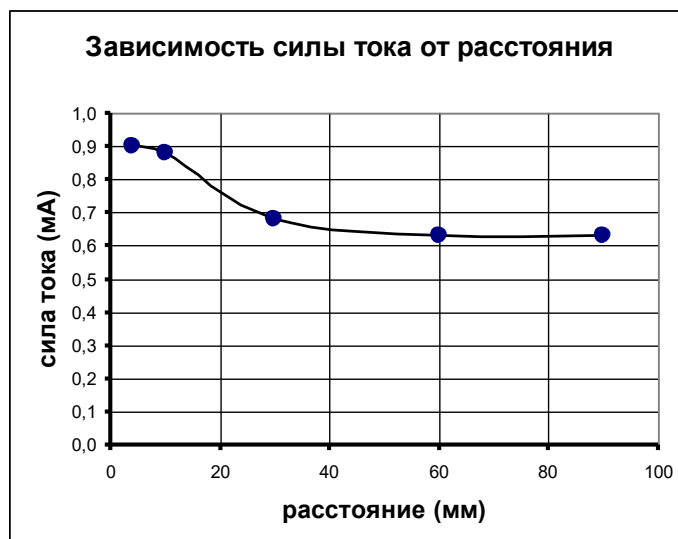
Следовательно, измеряемое сопротивление пропорционально напряжению на нем.

При переключении диапазонов изменяется ток источника $I_0 = \frac{U_0}{r}$, скорее всего посредством изменения внутреннего сопротивления.

1.5 Как следует из результатов измерения напряжения, исследуемое устройство является гальваническим элементом, обладающим собственным напряжением. Поэтому результаты измерений никакого отношения к истинному сопротивлению не имеют: напряжение на клеммах омметра остается постоянным, а внутренне сопротивление изменяется.

1.6 – 1.8 Значение силы тока изменяется от 0,9 мА (при расстоянии в 3 мм) до 0,6 мА при расстоянии 10 мм), при дальнейшем увеличении расстояния сила тока не изменяется. График этой зависимости показан на рисунке.

Ток «растекается» по тарелке поэтому основной вклад в сопротивление вносит область, непосредственно примыкающая к цилиндрам. Если расстояние превышает размер этой области, то сопротивление (следовательно, и сила тока) практически не зависит от расстояния между цилиндрами.



Часть 2. Измерения в стакане.

2.1 В данной системе удастся снять показания при двух полярностях подключения мультиметра.

Результаты этих измерений приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Диапазон измерения	2К	20К	200К	2М	20М
Показания кОм	-0,9	-2,0	-10,2	-75	-650
Показания кОм	0,9	1,3	6,2	59	620

2.2 Как и в тарелке, показания омметра практически не зависят от взаимного расположения пластин.

2.3 Измерения напряжения показывают, что напряжение мало (близко к нулю), при одинаковых пластинах, гальванического эффекта не возникает. Однако, при протекании электрического тока происходит неравноценная поляризация пластин, благодаря чему также появляется напряжение между клеммами. Причем это напряжение сложно зависит от силы протекающего тока.



Республиканская физическая олимпиада 2023 года (3 этап)

Экспериментальный тур

Решения задач 11 класс (для жюри)

Задания экспериментального тура данной олимпиады предоставляют для участников большие возможности для самостоятельного выбора параметров установок, диапазонов исследования, методов измерений. Иными словами – проявить свои творческие способности. Кроме того, результаты измерений сильно зависят от предоставленного оборудования, которое может различаться в разных областях нашей Республики.

Поэтому, относитесь к приведенным ниже результатам, как к ориентировочным. Желательно (или даже обязательно) провести собственные измерения. Поэтому здесь приводятся основные теоретические положения и результаты измерений, полученные авторами данных заданий. Методы обработки результатов измерений являются в большинстве своем, стандартными, поэтому подробно не описываются.



Результаты измерений в этих экспериментах далеко не однозначны. Они очень зависят от используемых материалов и оборудования. Кроме, того мы предоставляем участникам олимпиады определенную свободу в планировании и проведении эксперимента. Поэтому в этом решении мы не приводим все результаты измерений, ограничиваемся только теоретическим описаниями, указанием характерных значений измеряемых величин и видом получаемых зависимостей.

Задание 11-1. Поплавок.

1. Трубку с закрытым снизу концом можно использовать в качестве гидростатических весов. При не слишком высокой точности измерений, можно считать, что плотность свинца значительно больше плотности воды (в 11 раз), поэтому силу Архимеда, действующую на свинец не учитывать (хотя ее не сложно учесть, поставив в формуле коэффициент 1,1). Масса прикрепленного к трубке дополнительного груза определяется по формуле

$$m = \pi r^2 \Delta h \rho_0 \quad (1)$$

Где Δh - глубина погружения трубки. Диаметр трубки порядка 2 мм. Поэтому изменение глубины погружения на 1 см, соответствует изменению массы на 0,03 г.

2. Масса маленьких грузил для поплавок-удочек лежит в интервале 0,1 – 0,5 г.

3. Можно (и нужно) добиться начального угла погружения не менее 70° . Большему углу препятствует недостаточный диаметр пластиковой бутылки.

4. Для использованной нами ручки угол наклона монотонно возрастал при увеличении массы грузила. Ручка становилась вертикально уже при массе подвешенного груза менее 0,1 г. Поэтому для того, чтобы снять требуемую зависимость требуется использовать маленькие кусочки свинца.

5. Основная причина наклонного положения – смещение центра масс вытесненной воды, при наклоне цилиндрического поплавка.

6. Основным параметром, влияющим на исследуемое явление – диаметр поплавка: чем больше этот диаметр, тем легче заставить поплавок плавать в наклонном положении.



Задание 11-2. Бумажный маятник.

1. Период колебаний пружинного маятника рассчитывается по известной формуле

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}. \quad (1)$$

2. Подставляя формулу для жесткости пружины получим, что период колебаний зависит от размеров полоски следующим образом

$$T = Al^{-\frac{\alpha}{2}}h^{\frac{\beta}{2}}. \quad (2)$$

Для определения показателей степеней необходимо провести измерения зависимости периода колебаний от длины полоски (при неизменной ширине) и зависимости периода колебаний от ширины полоски (при неизменной длине). Формула (2) допускает очевидную линеаризацию с использованием двойного логарифмического масштаба

$$\ln T = B - \frac{\alpha}{2} \ln l - \frac{\beta}{2} \ln h. \quad (3)$$

Поэтому построив указанные зависимости в двойном логарифмическом масштабе по коэффициенты наклона графиков можно рассчитать искомые показатели степеней.

3. Измерения требуют большого терпения. Требуется 5-10 минут, чтобы научиться мягко раскачивать маятник, плавно вводя его в резонанс. Зато при этом можно измерить времена большого числа периодов колебаний (до 100). Результаты измерений очень сильно зависят от сорта используемой бумаги. В наших измерения характерные значения периодов составляли от нескольких десятых доли секунды до 1,5 с. В ходе измерения одной зависимости удавалось достичь изменения периодов в 2-2,5 раза.

Полученные зависимости оказываются близкими к линейным. Оказывается, что значение параметра α близко к -3, а параметра β к 1. Конечно погрешность ручных измерений высока и составляет величины порядка 20%.