



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.



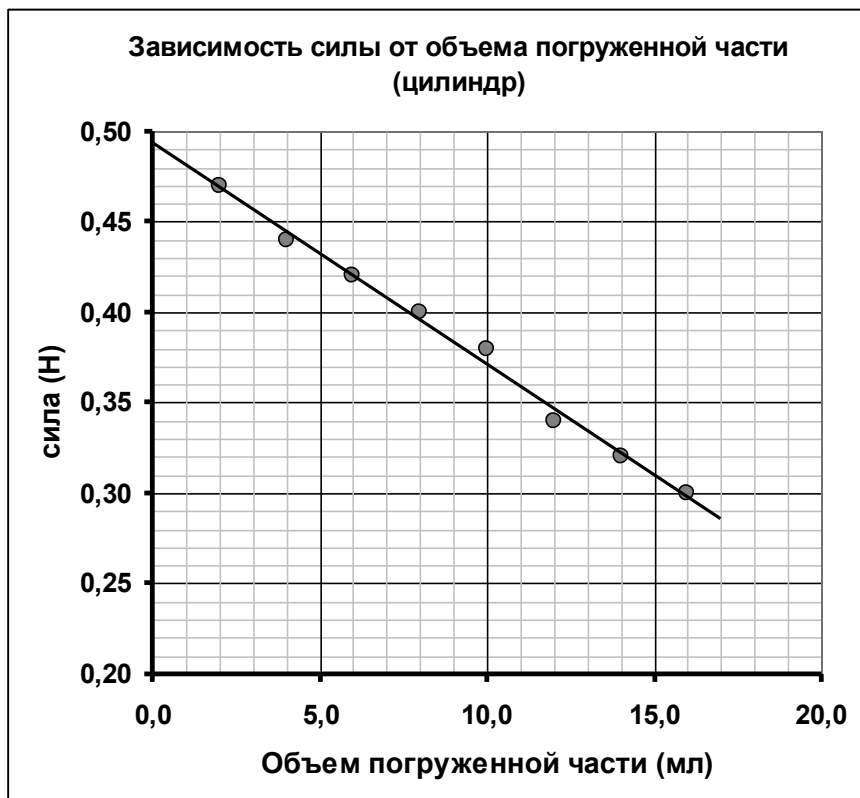
Задание 9-1. Архимед и объем шарового сегмента. Решение.

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

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

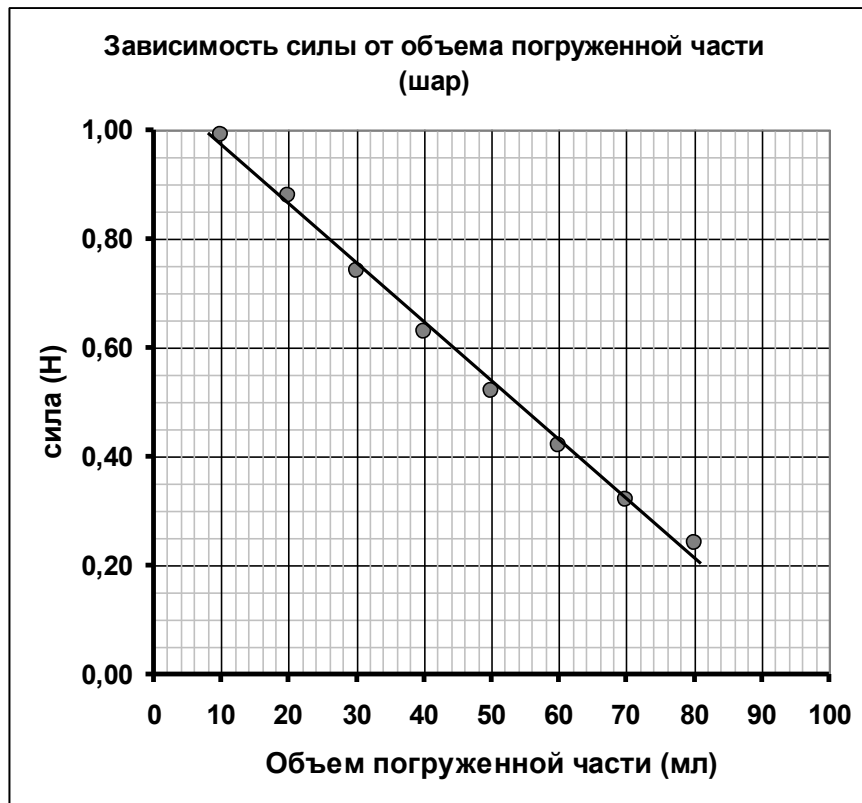
Откуда находим (все единицы надо перевести в единицы СИ), что плотность воды равна

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

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

$$k = 55,9 \text{ см}^2 \quad (7)$$

$$c = -19,3 \text{ см}^3$$

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.

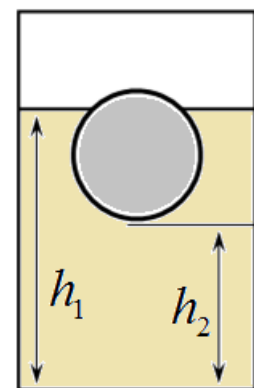
Тогда объем погруженного сегмента шара рассчитывается по формуле

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

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.

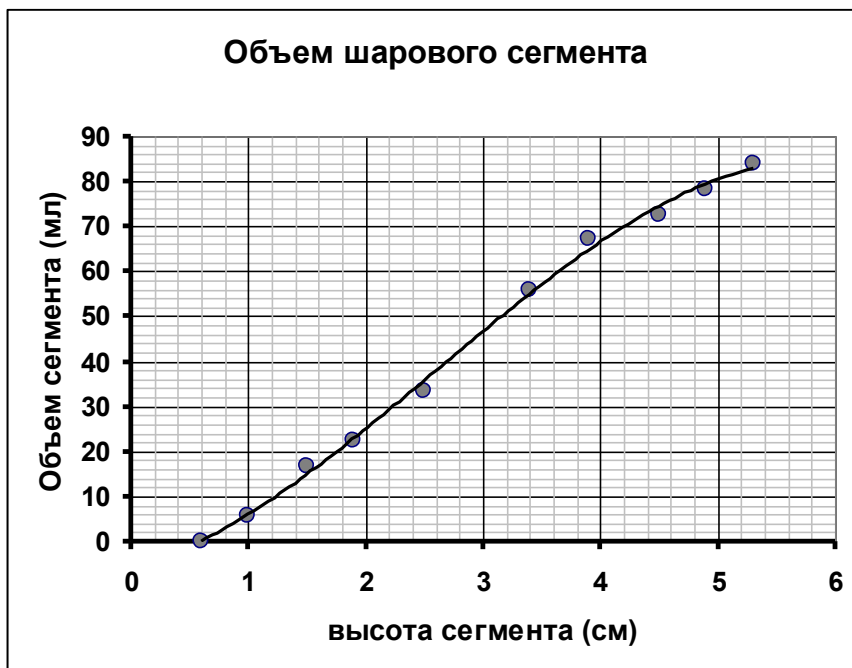


График полученной зависимости показан на рисунке.

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

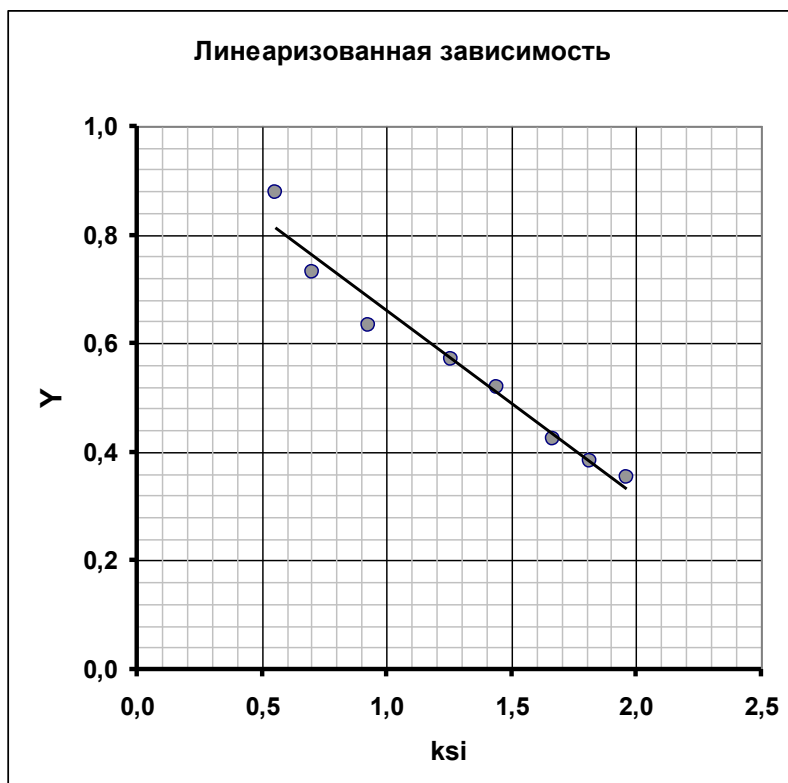
$$Y = \frac{V}{\pi R^3 \xi^2} = a + b\xi \quad (10)$$

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

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

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 $t_{гор.} = 70,2^\circ$;

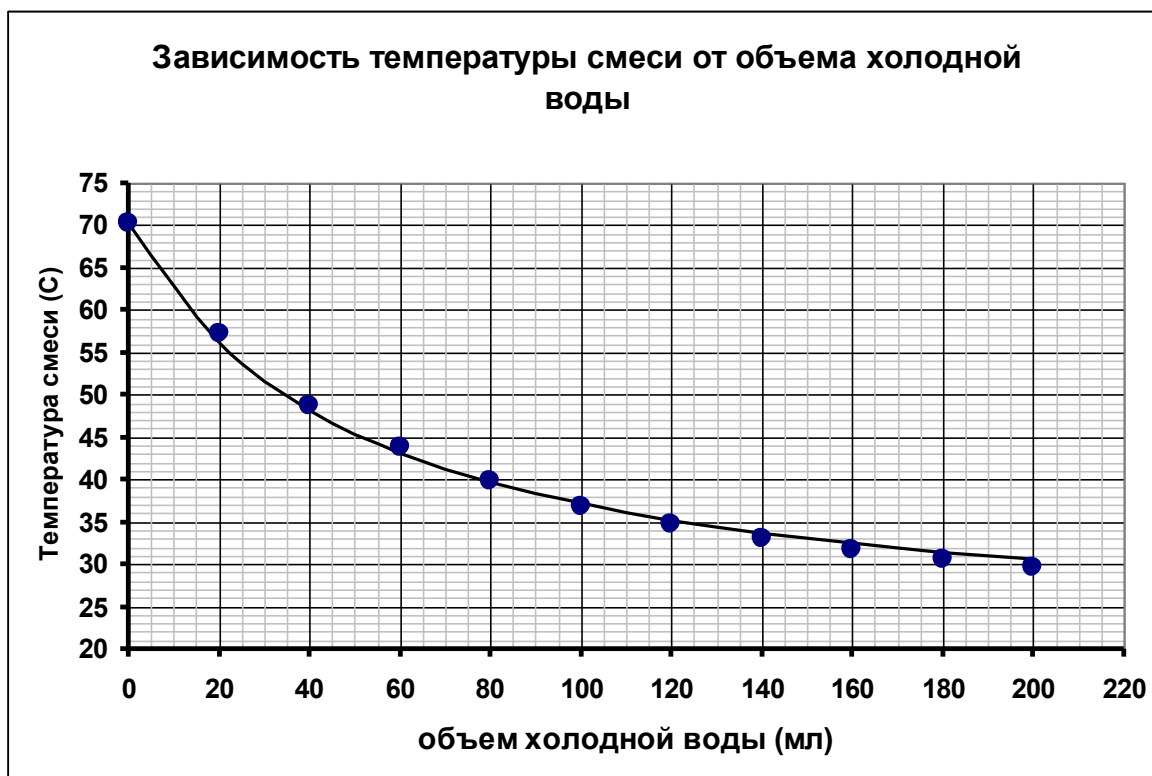
Холодная вода $t_{хол.} = 20,6^\circ$.

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

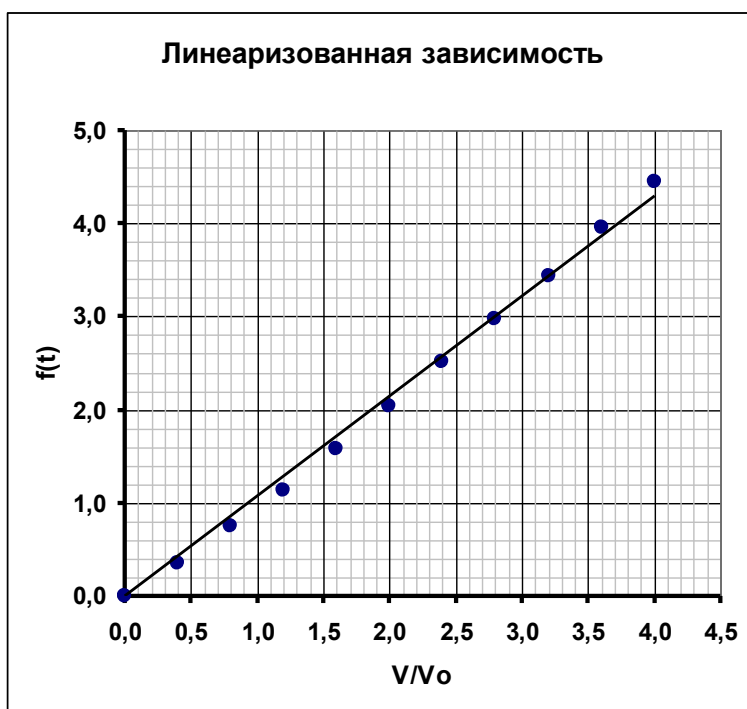
$$A_{\text{теор.}} = 1. \quad (4)$$

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:

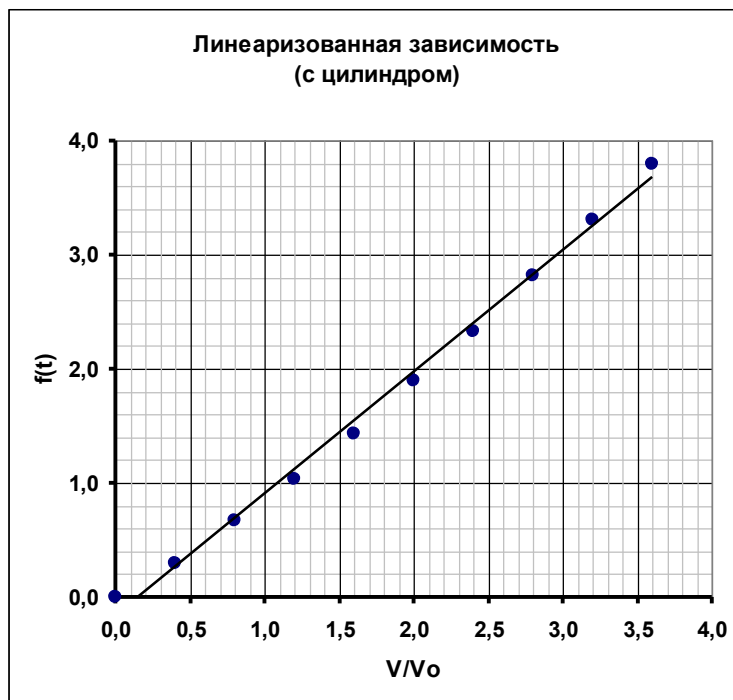
Горячая вода $t_{гор.} = 57,1^\circ$;

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, 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

$$A_{эксп.} = 1,06. \quad (6)$$

2.4 Уравнение теплового баланса с учетом теплоемкости цилиндра имеет вид

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

Тогда линейаризующая функция равна

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

2.5 Из формулы (8) следует, что коэффициент наклона линейаризованной зависимости должен быть меньше 1. Однако Экспериментально получено, значение большее 1: $A_{эксп.} = 1,06$. 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.