

ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования «Санкт-Петербургский горный университет»**

Кафедра общей и технической физики

ОТЧЕТ

ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №11

«Определение коэффициента термического расширения (объемного) жидкости»

Выполнил: студент гр. СПС-22 _____ Поздняков В. А.
(шифр группы) (подпись) (Ф.И.О.)

Оценка: _____

Дата: _____

Проверил:

Руководитель работы _____ _____ _____
(должность) (подпись) (Ф.И.О.)

Санкт-Петербург

2022

Цель работы:

- 1) измерить изменение объема воды при нагревании от 0°C до 90°C
- 2) определить коэффициент термического расширения воды

Процесс, изучаемый в работе: тепловое расширение жидкости**Краткое содержание:**

Термическое расширение — изменение линейных размеров и формы тела при изменении его температуры. Количественно термическое расширение жидкостей и газов при постоянном давлении характеризуется изобарным коэффициентом расширения (объемным коэффициентом теплового расширения). Для характеристики термического расширения твёрдых тел дополнительно вводят коэффициент линейного термического расширения.

Коэффициент термического расширения — физическая величина, характеризующая относительное изменение объёма или линейных размеров тела с увеличением температуры на 1 К при постоянном давлении. Имеет размерность обратной температуры. Различают коэффициенты объёмного и линейного расширения.

Температура – это физическая величина, характеризующая состояние термодинамического равновесия макроскопической системы и определяющая направление теплообмена между телами.

Объем – это количественная характеристика пространства, занимаемого телом или веществом.

Коэффициент объёмного термического расширения – физическая величина, характеризующая относительное увеличение объёма $\Delta V/V_0$, происходящее при нагревании жидкости на 1 градус.

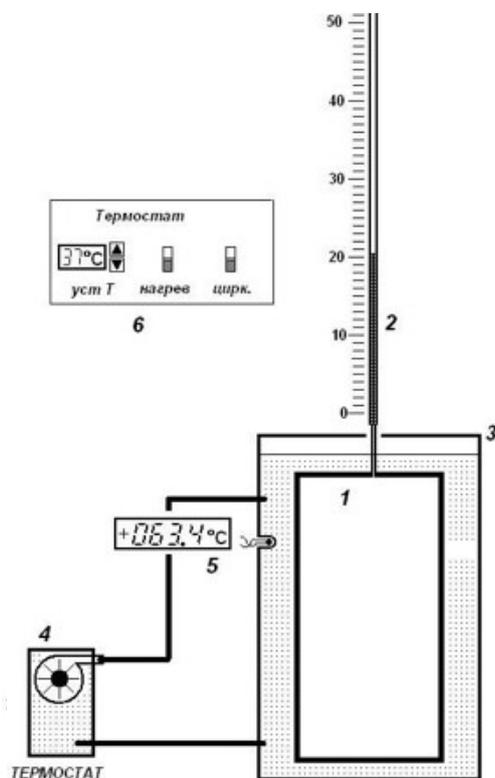
Основные законы и соотношения, лежащие в основе вывода расчетных формул:

Основной закон теплового расширения – тело с объёмом V_0 при увеличении его температуры на ΔT и отсутствии внешних механических сил расширяется на величину ΔV , равную:

$$\Delta V = \alpha V_0 \Delta T,$$

где α — коэффициент термического расширения ($^{\circ}\text{C}^{-1}$).

Схема экспериментальной установки



- 1 – колба
- 2 – измерительная трубка
- 3 – термостатированный объём
- 4 – термостат
- 5 – термометр
- 6 – пульт для управления

Основные расчетные формулы:

- 1) Средний коэффициент термического расширения:

$$\alpha = \frac{\delta V}{V_0 t}, (\text{°C}^{-1}),$$

где δV – изменение объёма (м^3);

V_0 – начальный объём воды (м^3);

t – температура, соответствующая максимальной высоте столба жидкости (°C).

- 2) Изменение объёма:

$$\delta V = \frac{\pi}{4} D^2 (h_{max} - h_{min}), (\text{м}^3),$$

где D – диаметр трубки (м);

h_{max} – максимальная высота жидкости (при t_{max}) (м);

h_{min} – начальная высота жидкости (м).

3) Коэффициент термического расширения воды на n -температурном интервале:

$$\alpha_n = \frac{h_{n+1} - h_n}{\frac{4V_0}{\pi D^2} + h_n} \cdot \frac{1}{t_{n+1} - t_n}, \text{ (}^\circ\text{C}^{-1}\text{)},$$

где n – температурный интервал;

h_n – высота столба воды в начале n -интервала (м);

h_{n+1} – высота столба в конце n -интервала (м);

t_n – температура воды в начале n -интервала ($^\circ\text{C}$);

t_{n+1} – температура воды в конце n -интервала ($^\circ\text{C}$).

Формулы погрешностей косвенных измерений

$$\Delta \alpha = \left(\frac{\Delta \delta V}{\delta V} + \frac{\Delta V_0}{V_0} + \frac{\Delta t}{t} \right) \bar{\alpha}$$

$$\Delta \delta V = \left(\frac{2 \Delta D}{D} + \frac{\Delta h_{max} + \Delta h_{min}}{\delta h} \right) * \delta V$$

Выполнение работы:

Технические данные приборов

№ п.п.	Название прибора	Пределы измерения	Число делений	Цена деления	Класс точности	Абсолютная приборная погрешность
1	Термометр	0-99,9 $^\circ\text{C}$	999	0,1 $^\circ\text{C}$	–	0,05 $^\circ\text{C}$
2	Измерительная трубка	0-52 см	520	1 мм	–	0,5 мм

Результаты измерений и вычислений:

Физ.величина	t	h	σV	$\alpha \cdot n$	α
Ед.измерения	°C	см	10^{-6} м^3	$10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	$10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
№ опыта					
1	0	3,6	0.00	0.00	0.00
2	1	3.6	0.00	-39.21	0.00
3	2	3,5	-0.02	0.00	-19.63
4	3	3.5	-0.02	0.00	-13.09
5	4	3.5	-0.02	0.00	-9.82
6	5	3.5	-0.02	0.00	-7.85
7	6	3.5	-0.02	39.22	-6.54
8	7	3.6	0.00	39.21	0.00
9	8	3.7	0.02	39.21	4.91
10	9	3.8	0.04	78.42	8.73
11	10	4	0.08	117.62	15.71
12	11	4.3	0.14	78.41	24.99
13	12	4.5	0.18	117.60	29.45
14	13	4.8	0.24	156.78	36.25
15	14	5.2	0.31	117.57	44.88
16	15	5.5	0.37	180.25	49.74
17	20	7.8	0.82	242.73	82.47
18	25	10.9	1.43	281.54	114.67
19	30	14.5	2.14	257.71	142.68
20	35	17.8	2.79	460.17	159.32
21	40	23.7	3.95	412.42	197.33
22	45	29	4.99	465.93	221.66
23	50	35	6.17	488.09	246.62
24	55	41.3	7.40	517.82	269.18
25	60	48	8.72	513.91	290.60
26	63	52	9.50	317.65	301.69

Вычисления для примера:

Исходные данные:

$$D = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$V_0 = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$h_{\min} = 3,6 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$h_{\max} = 52 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

Вычисления:

$$1) \sigma V(26) = \frac{\pi}{4} D^2 (h_{\max} - h_{\min}) = \frac{\pi}{4} \cdot (5 \cdot 10^{-3})^2 \cdot (3,5 - 3,6) \cdot 10^{-2} = -0,02 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

$$2) \alpha_{26} = \frac{\delta V}{V_0 t} = \frac{9,5 \cdot 10^{-6}}{0,0005 \cdot 63} = 301,69 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$3) \alpha'_{25} = \frac{h_{26} - h_{25}}{\frac{4V_0}{\pi D^2} + h_{25}} \cdot \frac{1}{t_{26} - t_{25}} = \frac{1}{63 - 60} \frac{0,52 - 0,48}{\frac{4 \cdot 0,0005}{3,14 \cdot 0,005^2} + 0,48} = 513,91 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Вычисление погрешности косвенного измерения:

$$\Delta \delta V = \delta V \left(\frac{2 \Delta D}{D} + \frac{\Delta h_{max} + \Delta h_{min}}{\delta h} \right) = 9,5 \cdot 10^{-6} \left(\frac{2 \cdot 0,0001}{0,005} + \frac{0,0005 + 0,0005}{0,52 - 0,036} \right) = 0,3996 \cdot 10^{-6}$$

$^\circ\text{C}^{-1}$

$$\Delta \alpha = \left(\frac{\Delta \delta V}{\delta V} + \frac{\Delta V_0}{V_0} + \frac{\Delta t}{t} \right) \bar{\alpha} = 301,69 \cdot 10^{-6} \cdot \left(\frac{0,40}{9,50} + \frac{0,00005}{0,0050} + \frac{0,1}{63} \right) = 16,20 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$E_\alpha = \frac{16,20}{301,69} \cdot 100\% = 5,37\%$$

Окончательный результат:

$$\alpha_{cp} = (301,69 \pm 16,20) \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Графический материал:

Красными точками отмечены границы аномальной зависимости

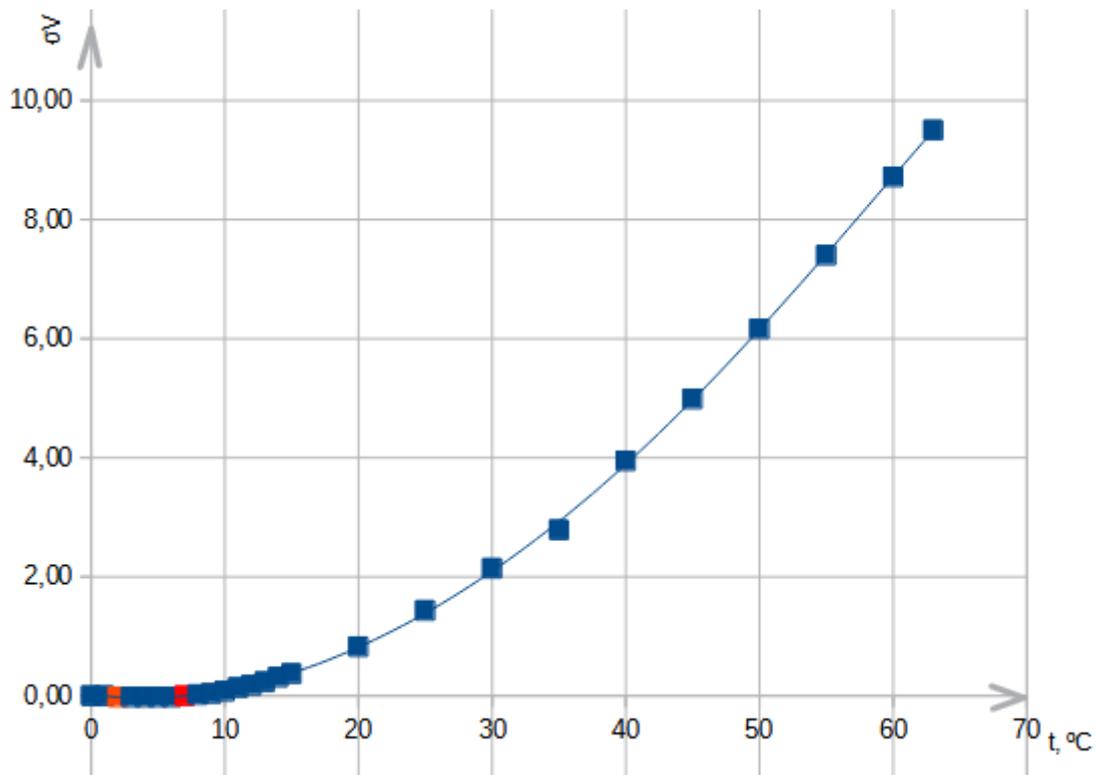


Рис. 1. Зависимость $\delta V \bullet f t$

Точка пересечения среднего значения с мгновенным

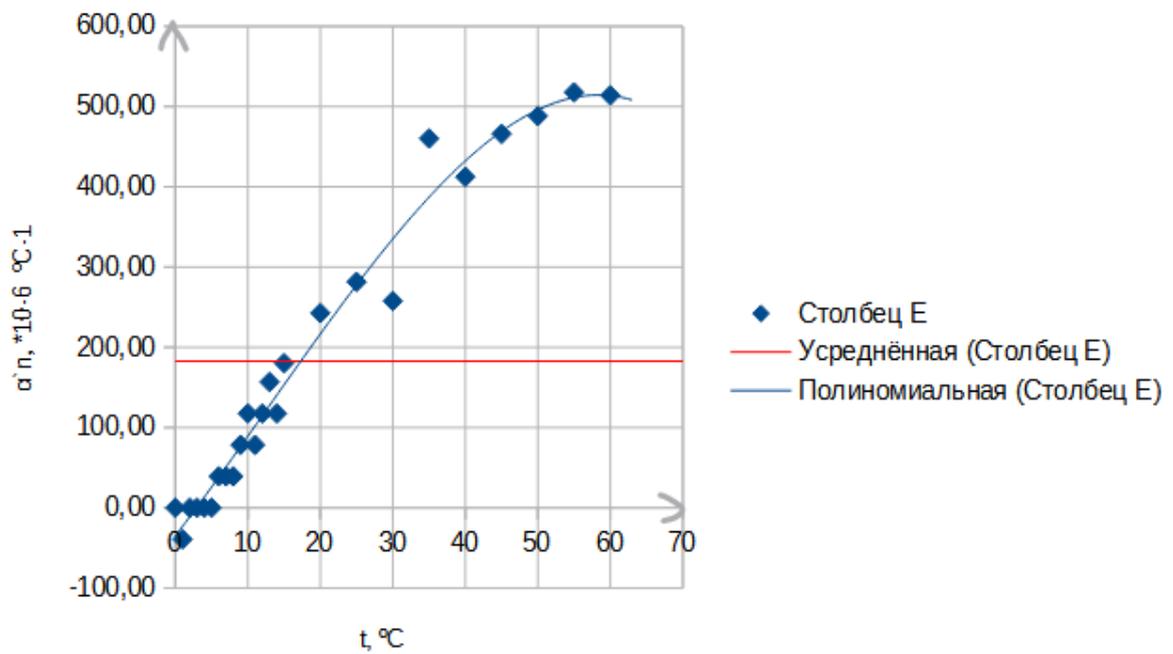


Рис. 2. Зависимость $\alpha' \bullet f t$

Вывод: в данной работе был экспериментально установлен коэффициент термического расширения (объемного) жидкости, а также его зависимость от разных значений температур. При повышении температуры, коэффициент термического расширения жидкости увеличивался. В ходе эксперимента было измерено и установлено изменение объема воды при ее нагреве на 63°C. Погрешность составила 5,37% от результата, что является допустимым значением.