

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

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

Кафедра общей и технической физики

## **ФИЗИКА**

### **КОЭФФИЦИЕНТ ТЕРМИЧЕСКОГО ЛИНЕЙНОГО РАСШИРЕНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА**

*Методические указания к лабораторным работам  
для студентов всех специальностей и направлений подготовки*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
2023**

УДК 539.12 (073)

**ФИЗИКА. Коэффициент термического линейного расширения твердого тела:** Методические указания к выполнению лабораторных работ. / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *В.В. Фицак, С.С. Прошкин*. СПб, 2023. 24 с.

Методические указания к лабораторной работе по курсу общей физики “Статистическая физика и термодинамика” предназначены для студентов бакалавриата и специалитета всех направлений и форм обучения.

С помощью методического указания студент имеет возможность, в предварительном плане, ознакомиться с физическими явлениями, методикой выполнения лабораторного исследования и правилами оформления лабораторных работ.

Выполнение лабораторных работ практикума проводится студентом индивидуально по графику.

Научный редактор проф. *А.С. Мустафеев*

Рецензент к. ф.-м. н. *Н.И. Егорова* (СПбУ ГПС МЧС России)

© Санкт-Петербургский  
горный университет, 2023

## **1. Введение**

В процессе обучения в вузе выполнение лабораторной работы студентами является одной из форм образовательных технологий. Она способствует формированию у студентов комплекса компетенций, таких как: способность к познавательной и творческой деятельности; способность использовать навыки работы с информацией из различных источников для решения профессиональных задач и др.

Методические указания к лабораторной работе предназначены для самостоятельной работы студентов. Они содержат основные теоретические сведения по теме, а также порядок выполнения и оформления лабораторной работы.

При выполнении лабораторной работы, студент должен понимать физический смысл данного явления или процесса рассматриваемого в лабораторной работе. Поэтому к выполнению работы целесообразно приступать только после изучения теоретического и методического материала, соответствующего данному разделу.

Кроме формирования необходимых для выпускников вуза компетенций, самостоятельное выполнение лабораторной работы способствует подготовке студентов к сдаче экзамена.

## 2. Цель работы

- 1) определить температуру металлической проволоки при протекании через нее электрического тока;
- 2) измерить удлинение проволоки при нагревании;
- 3) определить коэффициент линейного и объемного термического расширения;
- 4) рассчитать плотность исследуемого образца металла.

## 3. Краткое теоретическое содержание

Тепловым (температурным) расширением называется изменение линейных размеров тел при изменении температуры этих тел. Тепловое расширение или сжатие характеризуется соответствующим коэффициентом. Тепловое расширение бывает линейное и объемное, они характеризуются коэффициентами теплового расширения:  $\alpha_l$  - коэффициент линейного теплового расширения,  $\alpha_v$  - коэффициент объемного теплового расширения.

Из опытных данных следует, что с уменьшением температуры большинство твердых тел сжимаются, а при увеличении температуры происходит увеличение их линейных размеров. Такой процесс называется тепловым расширением. Расширение твердого тела относительно одного из его размеров называется линейным (рис.1).

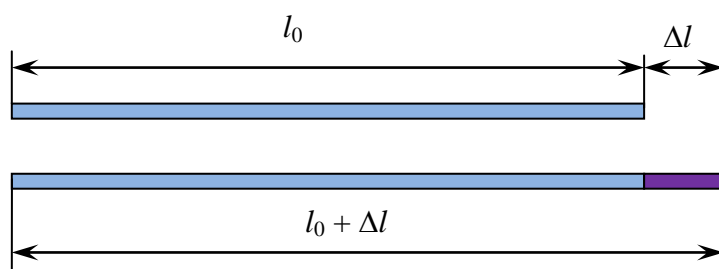


Рис. 1. Удлинение твердого тела при нагревании.

Здесь  $l_0$  - исходная длина тела при температуре  $T_1$ ,  $\Delta l$  - изменение длины твердого тела.

Изменение длины тела  $\Delta l$  при его нагревании до некоторой температуры  $T_2$  пропорционально исходной длине  $l_0$ , а также изменению температуры  $\Delta T = T_2 - T_1$ :

$$\Delta l = l_0 \alpha_l \Delta T, \quad (1)$$

где  $\alpha_l$  – коэффициент линейного термического расширения, который определяет относительное удлинение тела  $\Delta l/l_0$ , при изменении его температуры на 1 градус.

Длина тела при температуре  $T_2$ :

$$l = l_0 + \Delta l = l_0 + l_0 \alpha_l \Delta T, \quad (2)$$

тогда

$$\alpha_l = \frac{l - l_0}{l_0 \Delta T} = \frac{1}{l_0} \frac{\Delta l}{\Delta T}. \quad (3)$$

При изменении температуры также изменяется и объем тела. Объем твердых тел и жидкостей при изменении температуры можно определить по формуле:

$$V = V_0 (1 + \alpha_v \Delta T), \quad (4)$$

где  $V_0$  – исходный объем тела при температуре  $T_1$ ,  $\alpha_v$  – коэффициент объемного термического расширения тела,  $\Delta T$  – изменение температуры тела.

Коэффициент объемного расширения тела  $\alpha_v$  – это физическая величина, которая определяет относительное изменение объема тела ( $\Delta V/V_0$ ), происходящее при изменении его температуры на 1 К (при этом давление должно оставаться постоянным). Коэффициент  $\alpha_v$  определяется по формуле:

$$\alpha_v = \frac{1}{V_0} \frac{\Delta V}{\Delta T}. \quad (5)$$

Изменение линейных размеров твердых тел связывают с ангармоничностью тепловых колебаний молекул при изменении температур, составляющих кристаллическую решетку тела. Вследствие таких колебаний с изменением температуры тела изменяются расстояния между частицами тела.

Изменение объема тела влечёт за собой и изменение плотности этого тела:

$$\rho = \frac{\rho_0}{1 + \alpha_v \Delta T}, \quad (6)$$

где  $\rho_0$  – исходная плотность тела при температуре  $T_1$ ,  $\rho$  – плотность тела при температуре  $T_2$ . Так как величина  $\alpha_v \Delta T \ll 1$  то уравнение (6) можно представить в виде:

$$\rho = \rho_0 (1 - \alpha_v \Delta T). \quad (7)$$

Коэффициенты теплового расширения зависят от вещества, а также и от температуры. От температуры они не зависят только для небольшого интервала температур.

Также существуют вещества, которые имеют отрицательный коэффициент термического расширения, материалы из таких веществ с увеличением температуры сжимаются. Но это происходит только в узком диапазоне температур. Существуют вещества, у которых коэффициент теплового расширения приблизительно равен нулю в определенном интервале температур.

В первом приближении коэффициенты линейного и объемного расширения однородного тела связаны между собой соотношением:

$$\alpha_v = 3 \cdot \alpha_l. \quad (8)$$

Коэффициенты теплового расширения многих твердых тел имеют небольшую величину, порядка  $10^{-5} \div 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ . Из этого следует, что при комнатных температурах удлинение тел незначительно отличается от его длины при  $0^\circ\text{C}$ .

Твёрдое тело – агрегатное состояние вещества, характеризующееся стабильностью формы и характером теплового движения атомов отличающееся от других возможных агрегатных состояний (плазма, газ, жидкость). Атомы твердых тел расположены симметрично в узлах кристаллической решетки. Сам тип кристаллических решеток зависит от характера сил взаимодействия между атомами (или ионами).

Атомы в кристаллических решетках совершают колебания относительно положения равновесия (узлов) при любых температурах тела, при этом с повышением температуры увеличивается и амплитуда их колебаний. Причинами расширения твердых тел при на-

гревании является увеличение амплитуды колебаний атомов и увеличение расстояния между атомами.

Если бы колебания атомов были гармоническими (описываемыми синусоидальной функцией), то увеличение амплитуды колебаний при увеличении температуры не влияло бы на тепловое расширение вещества. Это означает, что увеличение амплитуды гармонических колебаний двух соседних атомов данного твердого тела не приведет к увеличению расстояния между ними, так как каждый атом в отдельности приближается к соседнему настолько же, насколько и удаляется. Но для твердого тела колебания частиц не описываются гармоническими законами. Такое отклонение от гармонических колебаний частиц в кристаллической решетке (ангармоничность) объясняется тем, что силы притяжения и отталкивания между соседними атомами не симметричны.

При увеличении амплитуды колебаний силы отталкивания между соседними атомами возрастают быстрее, чем уменьшаются силы притяжения. Следствием этого является то, что зависимость потенциальной энергии  $E_P(r)$  взаимодействующих атомов не симметрична относительно положения равновесия.

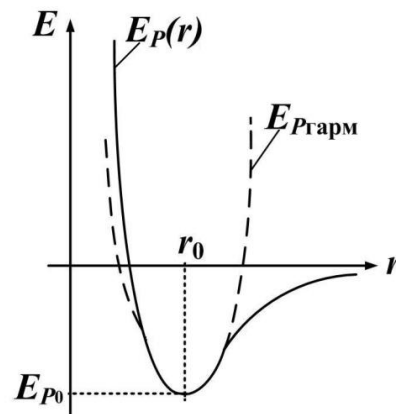


Рис. 2. Зависимость потенциальной энергии от расстояния между атомами.

На рис. 2 изображена кривая (сплошная линия) зависимости  $E_P(r)$  от расстояния между соседними атомами, один находится в

точке  $O$ , а другой на некотором расстоянии  $r$  от него. На этом же рисунке представлена зависимость  $E_p(r)$  при гармонических колебаниях между атомами (пунктирная линия).

Равновесное расстояние между атомами  $r_0$  определяется минимумом таких кривых. В таком положении силы взаимодействия между частицами равны нулю.

Если  $r > r_0$ , то силы взаимодействия между атомами являются силами притяжения, если  $r < r_0$  – силы отталкивания.

При сравнении этих двух зависимостей видно, что кривая  $E_p(r)$  асимметрична относительно вертикали, которая проходит через минимум кривой. Это как раз и является физическим обоснованием уменьшения сил притяжения с увеличением расстояния между атомами относительно  $r_0$  (оси симметрии).

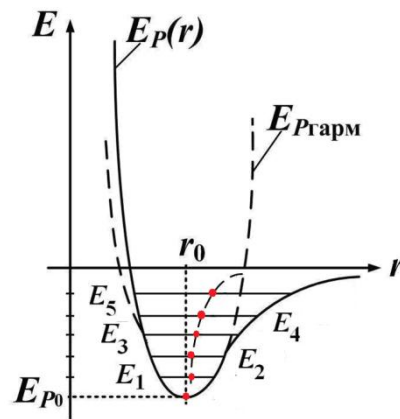


Рис. 3. Зависимость потенциальной энергии от расстояния между атомами для некоторых значений энергии при различных температурах.

На рис. 3 представлены значения полной энергии при некоторых значениях температуры ( $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$ ,  $E_4$  и  $E_5$  при температурах  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ,  $T$  и  $T_5$ ). Значение  $E_{p0}$  – соответствует минимальной энергии частицы в состоянии покоя, которая находится на равновесия  $r_0$  от другой соседней частицы. Из рисунка следует, что с увеличением температуры также увеличивается амплитуда колебаний, а, следовательно, и энергия атома.



При этом смещение атома вправо больше, чем смещение влево. В результате среднее положение атома (отмеченное на рис. 3 точками) отклоняется от  $r_0$  вправо и тем больше, чем больше полная энергия  $E$  колеблющегося атома. Следовательно, возрастание полной энергии (или температуры) атома приводит к тому, что среднее расстояние между атомами  $r_T$  увеличивается. Расчет показывает, что это увеличение прямо пропорционально абсолютной температуре твердого тела:

$$r_T = r_0 + \Delta r, \text{ где } \Delta r \sim T. \quad (9)$$

Это увеличение среднего расстояния между атомами при нагревании твердых тел и является причиной линейного термического расширения.

#### 4. Способ вычисления коэффициента термического расширения линейного твердого тела

В данной работе экспериментально определяется коэффициент термического расширения твердого тела (металлической проволоки).

Изменение длины проволоки связано с изменением её температуры:

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha_l \cdot \Delta T, \quad (10)$$

где  $\alpha_l$  – коэффициент линейного термического расширения заданного преподавателем материала,  $K^{-1}$ ,  $\Delta T$  – изменение температуры, К,  $l_0$  – исходная длина проволоки при комнатной температуре,  $l_0 = 1$  м.

Из формулы (10) вытекает, что для определения коэффициента термического расширения нужно задать начальную длину проволоки  $l_0$ , вычислить изменение температуры  $\Delta T$  и соответствующее изменение длины  $\Delta l$ . Удлинение проволоки измеряется непосредственно микрометрическим индикатором. А изменение температуры определяется по изменению сопротивления проволоки, при протекании по ней электрического тока идущего на нагрев (при известном коэффициенте термического сопротивления).

Сопротивление проволоки связано с изменением температуры формулой, аналогичной формуле (10):

$$R = R_0(1 + \lambda \cdot \Delta T), \quad (11)$$

где  $\lambda$  – коэффициент термического сопротивления,  $K^{-1}$  (таблица 3).

Измерив падение напряжения на сопротивлении и силу тока, можно определить сопротивление проволоки:

$$R = \frac{U}{I}. \quad (12)$$

Сила тока определяется по падению напряжения на эталонном сопротивлении, при этом коэффициентом термического сопротивления пренебрегаем.

При выполнении измерений в лабораторной работе необходимо иметь в виду, что линейная зависимость (10) выполняется в ограниченном интервале температур. При значительном нагреве удлинение проволоки превышает рассчитанное по формуле (10), т.к. проявляется эффект, аналогичный пластической деформации при значительном растяжении. Поэтому при обработке экспериментальных данных необходимо рассчитывать коэффициент  $\alpha_l$  по температурам, незначительно отличающимся от начальной.

## 5. Экспериментальная установка

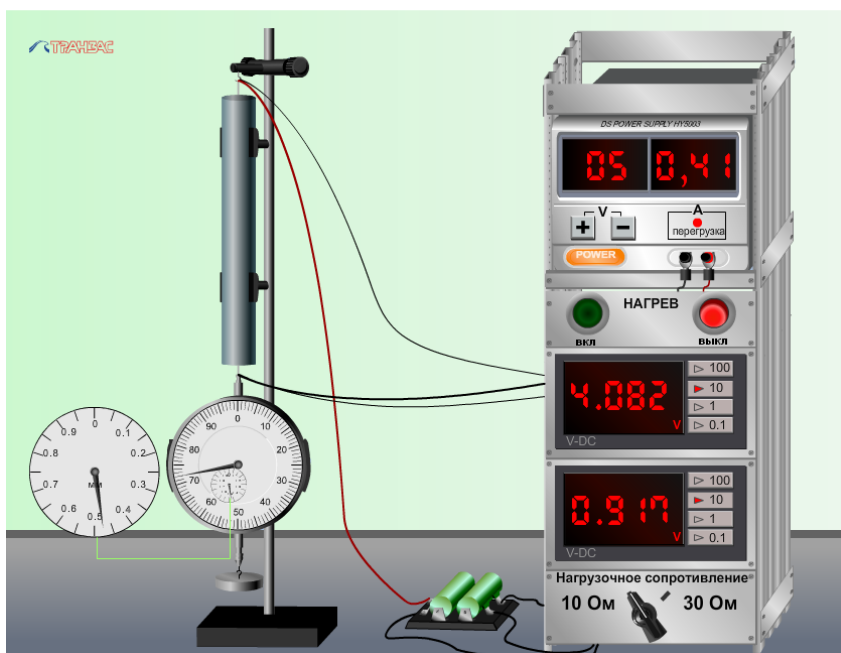


Рис. 4 Внешний вид установки

Схема установки показана на рисунке 5. Пояснения к схеме: 1 – теплоизоляционная трубка; 2 – исследуемая проволока; 3 – груз для поддержания проволоки в натянутом состоянии; 4 – микрометрический индикатор; 5 – нагрузочное (эталонное) сопротивление; 6 – блок питания; 7 – цифровой вольтметр измеряющий падение напряжения на нагрузочном сопротивлении; 8 – цифровой вольтметр измеряющий падение напряжения на проволоке; 9 – пульт переключения нагрузочного сопротивления (10 Ом или 30 Ом); 10 – пульт "НАГРЕВ" позволяет подключать/отключать ток в цепи, не выключая источник питания.

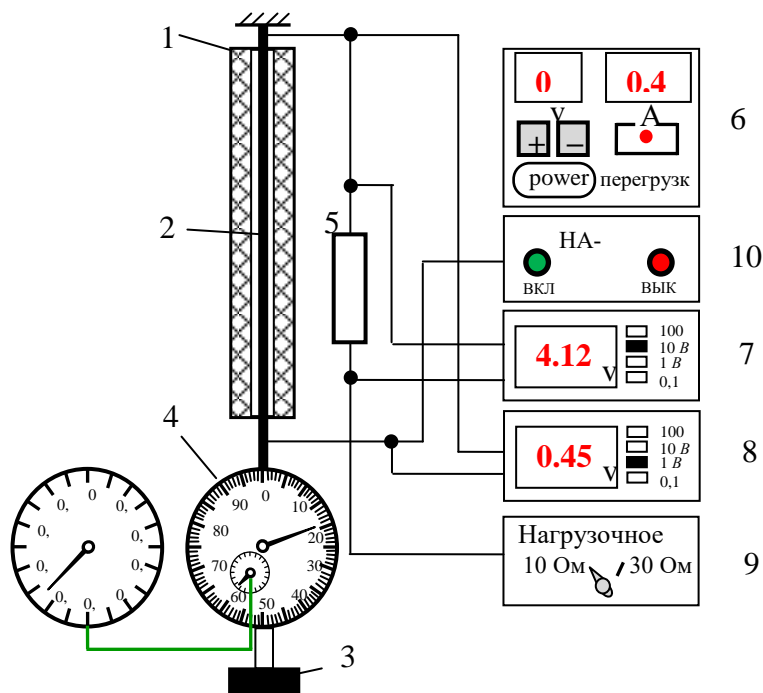


Рис. 5 Схема установки

Микрометрический индикатор содержит две шкалы: внешнюю (большую) и внутреннюю (маленькую, она вынесена и увеличена). Внешняя шкала имеет цену деления 1 мкм, один оборот внешней шкалы (100 мкм) соответствует одному делению внутренней шкалы. Один оборот внутренней шкалы соответствует перемещению 1 мм.

## 6. Порядок выполнения работы

1. Запустите лабораторную работу, нажав на панели инструментов «Пуск».
2. Включите источник питания и вольтметры.
3. Запишите технические данные всех измерительных приборов.

Таблица 1

№ п.п.	Название прибора	Пределы измерений	Число делений	Цена деления	Класс точности	Абсолютная погрешность
1						
2						
...						

3.Нажмите кнопку «ВКЛ» на пульте "Нагрев", величину нагрузочного сопротивления установить  $R_{\text{эт}} = 30 \text{ Ом}$ . Измерьте падения напряжений при напряжении источника питания 1 В и 2 В. Запишите результаты в таблицу 2.

Таблица 2

Физ. величина	$U$	$U_{\text{эт}}$	$U_{\text{пр}}$	$I$	$R_{\text{пр.т}}$	$t$	$\Delta l$	$\alpha_l$	$\rho$
Номер опыта	В	В	В	А	Ом	°С	мкм	°С <sup>-1</sup>	кг/м <sup>3</sup>
$R_{\text{эт}} = 30 \text{ Ом}$									
1	1								
2	2								
$R_{\text{эт}} = 10 \text{ Ом}$									
3	5								
4	10								
...									
$n$									

4. Установите величину нагрузочного сопротивления  $R_{\text{эт}} = 10 \text{ Ом}$ . Измерьте падения напряжений и удлинение проволоки, меняя напряжение от 5 В до максимального напряжения (50 В), а затем выполните измерения при уменьшении напряжения в обратном порядке с тем же шагом. При измерении удлинения, необходимо особое внимание обращать на перемещение стрелки на внутренней шкале, так как количество оборотов маленькой стрелки не фиксируется. Для ускорения процесса измерений рекомендуется делать «прыжок во времени», нажав на панели инструментов значок «Прыжок» установив при этом интервал времени «1 минута». Результаты измерений занести в таблицу 3.

## 7. Обработка результатов измерений

1. Рассчитайте сопротивление проволоки, найти среднее значение. Расчет сопротивления проволоки проводится по формуле:

$$R_{\text{пр.т}} = \frac{U_{\text{пр}}}{I} = \frac{U_{\text{пр}}}{U_{\text{эт}}} \cdot R_{\text{эт}}, \text{ Ом}, \quad (13)$$

где  $U_{\text{эт}}$  – напряжение нагрузочного сопротивления, показания верхнего (на стенде) вольтметра,  $U_{\text{пр}}$  – напряжение на проволоке, показания нижнего (на стенде) вольтметра, ток в цепи  $I = \frac{U_{\text{эт}}}{R_{\text{эт}}}$ .

2. Определите из справочной таблицы 3 термический коэффициент сопротивления исследуемой проволоки.

Таблица 3

	Материал	Удельное сопротивление, $\rho \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$	Термический коэффициент сопротивления, $\lambda \cdot 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
1	Вольфрам	5,5	4,6
2	Сталь	9,8	6,0
3	Алюминий	2,7	4,2
4	Медь	1,7	4,3

3. Рассчитайте температуру, соответствующую каждому значению сопротивления:

$$t = 20 + \frac{1}{\lambda} \cdot \left( \frac{R_{\text{пр.т}}}{R_0} - 1 \right), \text{ }^{\circ}\text{C}, \quad (14)$$

где  $\lambda$  – термический коэффициент сопротивления исследуемой проволоки,  $R_0$  – сопротивление проволоки, определяется как среднее при напряжении 1 и 2 В.

$$R_0 = \frac{U_{\text{пр}}}{I}. \quad (15)$$

4. Рассчитайте коэффициент линейного термического расширения исследуемого материала

$$\alpha_l = \frac{1}{l_0} \frac{\Delta l}{\Delta T}. \quad (16)$$

4. Рассчитайте коэффициент объёмного термического расширения исследуемого материала

$$\alpha_v = 3 \cdot \bar{\alpha}_l, \quad (17)$$

где  $\bar{\alpha}_l$  – усреднённый коэффициент линейного термического расширения.

5. Определите плотность материала при изменении температуры

$$\rho = \rho_0 (1 - \alpha_v \Delta T). \quad (18)$$

6. Построить графики зависимости удлинения проволоки от её температуры ( $\alpha_l = f(t)$ ). Отметить на графике область линейного удлинения и область пластической деформации. Рассчитать коэффициент термического расширения по результатам графического дифференцирования, соответствующего области линейного удлинения проволоки.

7. Выведите формулы и вычислите погрешности косвенных измерений  $\bar{\alpha}_l$  и  $\rho$ .

8. Представить окончательный результат  $\bar{\alpha}_l$  и  $\rho$  в виде:

$$\alpha_l = \bar{\alpha}_l \pm \Delta \alpha_l, \quad (19)$$

$$\rho = \bar{\rho} \pm \Delta \rho. \quad (20)$$

9. Полученные результаты сравнить со справочными данными исследуемого материала по формуле:

$$\frac{|x_{\text{ср}} - x_{\text{эсп}}|}{x_{\text{ср}}} \cdot 100\%. \quad (21)$$

10. Оцените относительную погрешность косвенных измерений коэффициента  $\bar{\alpha}_l$  и плотности  $\rho$

$$\frac{|\Delta x|}{x} \cdot 100\%. \quad (22)$$

## 8. Контрольные вопросы

1. Что такое деформация?
2. Что называется пластической и упругой деформацией?
3. Что называется тепловым расширением?
4. Дайте определение коэффициентов линейного и объёмного расширения тела.
5. Какова размерность коэффициентов  $\alpha_l$  и  $\alpha_v$ ?
6. Какова связь между коэффициентом линейного и объёмного расширения?
7. Дайте примеры теплового расширения тел на практике.
8. Как зависит длина материала от температуры?
9. Что называется твердым телом?
10. Как можно объяснить ангармоничность колебаний атомов в кристаллической решетке при нагревании твердого тела?
11. Как изменяются силы притяжения и отталкивания при увеличении температуры?
12. Как, с физической точки зрения, объяснить изменение размеров твердого тела при изменении его температуры?



## **9. Требования к содержанию отчёта по лабораторной работе**

Отчёт оформляется в печатном виде на листах формата А4 в соответствии с требованиями, предъявляемыми кафедрой ОТФ, в котором помимо стандартного титульного листа должны быть раскрыты следующие пункты:

- I. Цель работы.
- II. Краткое теоретическое содержание:
  1. Явление, изучаемое в работе.
  2. Определение основных физических понятий, объектов, процессов и величин.
  3. Законы и соотношения, описывающие изучаемые процессы, на основании которых получены расчётные формулы.
  4. Пояснения к физическим величинам и их единицы измерений.
- III. Схема установки.
- IV. Расчётные формулы.
- V. Формулы погрешностей косвенных измерений.
- VI. Таблицы с результатами измерений и вычислений.  
(Таблицы должны иметь номер и название. Единицы измерения физических величин должны быть указаны в отдельной строке.)
- VII. Пример вычисления (для одного опыта):
  1. Исходные данные.
  2. Вычисления.
  3. Окончательный результат.
- VIII. Графический материал.
  1. Аналитическое выражение функциональной зависимости, которую необходимо построить.
  2. На осях координат указать масштаб, физические величины и единицы измерения.
  3. На координатной плоскости должны быть нанесены экспериментальные точки.
  4. По результатам эксперимента, представленным на координатной плоскости, провести плавную линию, аппроксимирующую функциональную теоретическую зависимость в соответствии с методом наименьших квадратов.
- IX. Анализ полученного результата. Выводы.

## **10. Рекомендации по защите отчета**

К защите допускаются студенты, подготовившие отчет в соответствии с требованиями к его содержанию в установленные сроки. После проверки преподавателем содержания отчёта, при наличии ошибок и недочетов, работа возвращается студенту на доработку.

При правильном выполнении лабораторной работы, соблюдении всех требований к содержанию и оформлению отчёта, студент допускается к защите.

Для успешной защиты отчета необходимо изучить теоретический материал по теме работы, а так же освоить математический аппарат, необходимый для вывода расчетных формул работы.

При подготовке к защите, помимо данного методического указания, необходимо использовать учебники и другие учебные пособия, рекомендованные к учебному процессу кафедрой ОТФ и Министерством образования и науки.

Во время защиты студент должен уметь ответить на вопросы преподавателя в полном объёме теоретического и методического содержания данной лабораторной работы, уметь самостоятельно вывести необходимые расчётные формулы, выполнить анализ полученных зависимостей и прокомментировать полученные результаты.

## 11. Примеры расчётов коэффициента термического линейного расширения

Пример 1.

Определите начальную длину стержней из никеля и железа, если при температуре 0 °С их длины одинаковы, а при температуре 150 °С их длины отличаются на 2 мм. Изменением диаметра пренебречь.

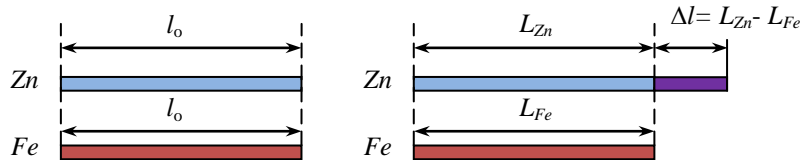


Рис. 6 Удлинение стержня

Решение:

В соответствии с законом термического расширения, длина стержней меняется соответственно:

$$l_{Zn} = l_0 (1 + \alpha_{l_{Zn}} \Delta T),$$

$$l_{Fe} = l_0 (1 + \alpha_{l_{Fe}} \Delta T),$$

здесь  $l_0$  – длина стержней при температуре 0 °С,  $l_{Zn}$  и  $l_{Fe}$  – длина стержней при температуре 150 °С,  $\Delta T = (t_2 - t_1)$  – разность температур,  $\alpha_{l_{Zn}} = 2,9 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ ,  $\alpha_{l_{Fe}} = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$  – коэффициенты линейного расширения

$$\Delta l = l_{Zn} - l_{Fe} = l_0 (1 + \alpha_{l_{Zn}} \Delta T) - l_0 (1 + \alpha_{l_{Fe}} \Delta T),$$

$$l_0 = \frac{\Delta l}{(\alpha_{l_{Zn}} - \alpha_{l_{Fe}}) \cdot \Delta T}.$$

Вычисления:

$$l_0 = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{(2,9 - 1,2) \cdot 10^{-5} \cdot 150} = 0,74 \text{ м}$$

Ответ: исходная длина стержней при температуре 0 °С, равна 740 мм.

Пример 2.

Длина медного стержня ( $\alpha_{l_{Cu}} = 1,7 \cdot 10^{-5} K^{-1}$ ) при температуре 300 К равна 2,5 м. На сколько изменится длина стержня при увеличении температуры до 350 К, и при уменьшении температуры до 250 К.

Решение:

По закону термического расширения, длина стержня при изменении температур:

$$l_1 = l_0(1 + \alpha_{l_{Cu}} \Delta T_1) \Rightarrow l_0 = \frac{l_1}{1 + \alpha_{l_{Cu}}(T_1 - T_0)},$$

$$l_2 = l_0(1 + \alpha_{l_{Cu}} \Delta T_2) = l_0(1 + \alpha_{l_{Cu}}(T_2 - T_0)).$$

Изменение длины составит:

$$\Delta l = l_2 - l_1 = l_0 \alpha_{l_{Cu}} (T_2 - T_1).$$

Подставим выражение для  $l_0$ , получим:

$$\Delta l = \frac{l_1 \cdot \alpha_{l_{Cu}} \cdot (T_2 - T_1)}{1 + \alpha_{l_{Cu}} \cdot (T_1 - T_0)}.$$

Принимая во внимание  $\alpha_{l_{Cu}} \cdot (T_1 - T_0) \ll 1$ , изменение длины составит:

$$\Delta l = l_1 \cdot \alpha_{l_{Cu}} \cdot (T_2 - T_1).$$

При повышении температуры с 300 до 350 К:

$$\Delta l = 2,5 \cdot 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot (350 - 300) = 212,5 \cdot 10^{-5} \text{ м} = 2,13 \text{ мм}$$

Проволока удлиняется на 2,13 мм.

При понижении температуры от 300 до 250 К:

$$\Delta l = 2,5 \cdot 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot (250 - 300) = -212,5 \cdot 10^{-5} \text{ м} = -2,13 \text{ мм}$$

Проволока укорачивается на 2,13 мм.

## 12. Приложение

Таблица 4

### Основные физические постоянные

Физическая величина	Численное значение
Авогадро постоянная	$N_A = 6,022169(40) \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Атмосфера стандартная (давление атмосферное нормальное)	$1 \text{ атм} = 1,01325 \cdot 10^5 \text{ Па}$
Атомная единица массы	$1 \text{ а.е.м.} = 1,660531(11) \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Больцмана постоянная	$k = 1,380658(12) \cdot 10^{-23} \text{ Дж} \cdot \text{К}^{-1}$
Объем моля идеального газа при нормальных условиях ( $P = 1 \text{ атм}$ , $T = 273,15 \text{ К}$ )	$V_o = 22,41410(19) \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$
Универсальная газовая постоянная	$R = k N_A = 8,31441(26) \text{ Дж} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1}$

Таблица 5

### Свойства некоторых твердых тел

Вещество	Температура плавления, °C	Удельная теплоёмкость, Дж/(кг·К)	Удельная теплота плавления, кДж/кг	Температурный коэффициент линейного удлинения, $\alpha_l \cdot 10^{-5}, \text{ К}^{-1}$
Алюминий	659	896	322	2,3
Железо	1530	500	272	1,2
Латунь	900	386	-	1,9
Медь	1100	395	176	1,6
Олово	232	230	58,6	2,7
Платина	1770	117	113	0,89
Свинец	327	126	22,6	2,9
Серебро	960	234	88	1,9
Сталь	1300	460	-	1,06
Цинк	420	391	117	2,9

Таблица 6

### Относительные молекулярные массы некоторых газов

Газ	Формула	Относительная молекулярная масса, а.е.м.
Азот	$\text{N}_2$	28,134
Аргон	$\text{Ar}$	39,948
Вода (пары)	$\text{H}_2\text{O}$	18,0152
Водород	$\text{H}_2$	2,0158
Гелий	$\text{He}$	4,0026
Кислород	$\text{O}_2$	31,9988
Метан	$\text{CH}_4$	16,0416
Углекислый газ	$\text{CO}_2$	44,0088

### 13. Рекомендательный библиографический список

#### **Учебники и учебные пособия**

1. *Волькенштейн В.С.* Сборник задач по общему курсу физики. СПб., М.: Лань, 2009.
2. *Детлаф А.А.* Курс физики / А.А. Детлаф, Б.М. Яворский. М.: Высшая школа, 2009.
3. *Иродов И.Е.* Задачи по общей физике. СПб., М.: Лань, 2009.
4. *Савельев И.В.* Курс физики. Т. 2, 3. СПб.: М.: Лань, 2008.
5. *Трофимова Т.И.* Курс физики. М.: Высшая школа, 2009.
6. *Яворский Б.М.* Основы физики т.1,2. / Б.М. Яворский, А.А. Пинский. М.: Наука, 2009.

#### **Сборники задач**

7. *Рогачев Н.М.* Решение задач по курсу общей физики. СПб., М.: Лань, 2008.
8. *Савельев И.В.* Сборник вопросов и задач по общей физике. СПб., М.: Лань, 2007.
9. *Трофимова Т.И.* Курс физики: задачи и решения. М.: Академия, 2009.
10. *Трофимова Т.И.* Сборник задач по курсу физики с решениями. М.: Высш. школа, 2009.
11. *Фирганг Е.В.* Руководство к решению задач по курсу общей физики. М.: Лань, 2009.
12. *Чертов А.Г.* Задачник по физике / А.Г. Чертов, А.А. Воробьёв. М.: Физматлит, 2009.

#### **Дополнительная литература**

13. *Калашников Н.П.* Физика. Интернет-тестирование базовых знаний / Н.П. Калашников, Н.М. Кожевников. СПб., М.: Лань, 2009. Сайт Росаккредитации [www.fepo.ru](http://www.fepo.ru)
14. *Сена Л.А.* Единицы физических величин и их размерности. М.: Наука, 1977.
15. *Сивухин Д.В.* Общий курс физики, тт. 1-5, М.: Наука, 2009.

16. Трофимова Т.И. Краткий курс физики. М.: Высшая школа, 2010.
17. Фриш С.Э. Курс общей физики / С.Э. Фриш, А.В. Тиморева А.В. СПб., М.: Лань, 2008.

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение .....	3
2. Цель работы .....	4
3. Краткое теоретическое содержание.....	4
4. Способ вычисления коэффициента термического расширения линейного твердого тела.....	9
5. Экспериментальная установка .....	11
6. Порядок выполнения работы .....	12
7. Обработка результатов измерений .....	14
8. Контрольные вопросы.....	16
9. Требования к содержанию отчёта по лабораторной работе.....	17
10. Рекомендации по защите отчета .....	18
11. Примеры расчётов коэффициента термического линейного расширения .....	19
12. Приложение .....	21
13. Рекомендательный библиографический список.....	22



## **ФИЗИКА**

### **КОЭФФИЦИЕНТ ТЕРМИЧЕСКОГО ЛИНЕЙНОГО РАСШИРЕНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА**

*Методические указания к лабораторным работам  
для студентов всех специальностей и направлений подготовки*

Сост.: В.В. Фицак, С.С. Прошкин

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой  
общей и технической физики

Ответственный за выпуск В.В. Фицак

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 09.02.2023. Формат 60×84/16.

Усл. печ. л. 1,4. Усл.кр.-отт. 1,4. Уч.-изд.л. 1,2. Тираж 50 экз. Заказ 99.

Санкт-Петербургский горный университет

РИЦ Санкт-Петербургского горного университета

Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2