

КАЛМЫЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра общей физики

## Лабораторная работа № 3

*«Изучение теплового расширения»*

Лабораторная работа № 3  
**«Изучение теплового расширения»**

**Цель работы:** практическое изучение теплового расширения твердых тел.

**Приборы и принадлежности:** прибор для определения коэффициента, линейного расширения твердых тел (ПРТТ), набор образцов.

**Т е о р и я   м е т о д а**

Общеизвестно, что твердые тела при нагревании увеличивают свой объем. Это тепловое расширение. Рассмотрим причины, приводящие к увеличению объема тела при нагревании.

Очевидно, что объем кристалла, растет с увеличением среднего расстояния между атомами. Значит, повышение температуры  $t$  ведет за собой увеличение среднего расстояния между атомами кристалла. Чем же обусловлено увеличение расстояния между атомами при нагревании?

Повышение температуры кристалла означает увеличение энергии теплового движения, т.е. тепловых колебаний атомов в решетке, а, следовательно, и рост амплитуды этих колебаний.

Но увеличение амплитуды колебаний атомов не всегда приводит к увеличению расстояния между ними.

Если бы колебания атомов были строго гармоническими, то, поскольку при этом каждый атом настолько же приближается к одному из соседей, насколько удаляется от другого, то увеличение амплитуды его колебаний не приводит к изменению среднего межатомного расстояния, а, значит, и к тепловому расширению.

В действительности, атомы кристаллической решетки совершают ан-

гармонические (т.е. не гармонические) колебания. Это обусловлено характером зависимости сил взаимодействия между атомами от расстояния между ними. Зависимость эта такова, что при больших расстояниях между атомами силы взаимодействия проявляются как силы притяжения, а при уменьшении этого расстояния, быстро возрастающими с уменьшением расстояния.

Это приводит к тому, что при возрастании «амплитуды» колебаний атомов вследствие нагревания кристалла рост сил отталкивания между атомами преобладают над ростом сил притяжения. Другими словами, атому «легче» удалиться от соседа, чем приблизиться к другому.

Это, конечно, должно привести к увеличению среднего расстояния между атомами, т.е. к увеличению объема тела при его нагревании.

Отсюда следует, что причиной теплового расширения твердых тел является агармоничность колебаний атомов в кристаллической решетке.

Количественно тепловое расширение характеризуется коэффициентом линейного расширения и объемного расширения, которые определяются так: пусть тело длиной  $l$  при изменении температуры на  $n$  градусов изменяет свою длину на  $\Delta l$ . Коэффициент линейного расширения определяется из соотношения

$$\alpha = \frac{1}{l} \cdot \frac{\Delta l}{\Delta T},$$

т.е. коэффициент линейного расширения равен относительному изменению длины при изменении температуры на  $1^\circ$ .

Точно так же коэффициент объемного расширения определяется формулой:

$$\beta = \frac{1}{V} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta T},$$

т.е. коэффициент  $\beta$  равен относительному изменению объема, отнесенного к  $1$  град.

Из этих формул следует, что длина  $l_m$  и объем  $V_m$  при некоторой температуре, отличающейся от начальной на  $\Delta T$  градусов, выражается формула-

ми (при малом  $\Delta T$ ):

$$l_m = l_0(1 + \alpha\Delta T) \quad \text{и} \quad V_m = V_0(1 + \beta\Delta T),$$

где  $l_0$  и  $V_0$  - начальные длина и объем тела.

Вследствие анизотропии кристаллов коэффициент линейного расширения  $\alpha$  может быть различным в разных направлениях. Это означает, что если из данного кристалла выточить шар, то после его нагревания он потеряет свою сферическую форму. Можно показать, что в самом общем случае такой шар превращается в трехосный эллипсоид, оси которого связаны с кристаллографическими осями кристаллов.

Коэффициенты теплового расширения по трем осям этого эллипсоида называются *коэффициентами расширений кристалла*.

Если их обозначить соответственно через  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  и  $\alpha_3$ , то коэффициент объемного расширения кристалла

$$\beta = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3.$$

Для кристаллов с кубической симметрией так же, как и для изотропных тел,

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha, \quad \beta = 3\alpha.$$

Шар, выточенный из таких тел, остается шаром и после нагревания (разумеется большего размера).

В некоторых кристаллах (например, гексагональных)

$$\alpha_1 = \alpha_2 \quad \text{и} \quad \beta = 2\alpha_1 + \alpha_3.$$

Некоторые вещества имеют особенно малый коэффициент теплового расширения. Таким свойством отличается, например, кварц ( $\alpha = 0,5 \cdot 10^{-6}$ ). Другим примером может служить сплав никеля и железа (36% Ni), известный под названием инвар ( $\alpha = 1 \cdot 10^{-6}$ ). Эти вещества получили широкое применение в точном приборостроении.

## Описание прибора и работа с ним.

Испытываемый образец нагревается в воде, находящейся в стеклянной пробирке. Измерение длины нагретого образца по сравнению с его первоначальной длиной (при комнатной температуре) измеряется индикатором малых перемещений и вводится в известную формулу для определения линейного расширения.

Электрическая схема прибора (рис. 1) состоит из нагревателя на базе эмалированного сопротивления, соединенного последовательно с предохранителем и индикаторной лампой, сигнализирующей о работе прибора. Сопротивление, соединенное параллельно с индикаторной лампой, служит шунтирующим элементом.

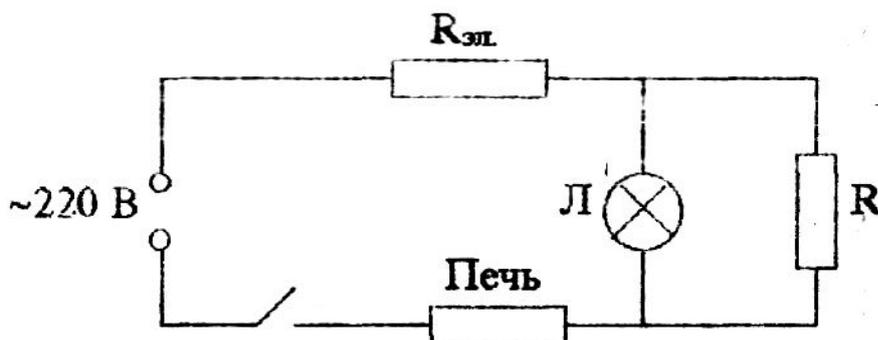


Рис. 1. Электрическая схема прибора

Для проведения опытов по определению коэффициента линейного расширения необходимо:

1. Пробирки на 1/2 объема наполнить водой комнатной температуры, опустить в каждую по испытуемому стержню.
2. Обратит внимание на то, чтобы сферический конец стержня упирался в дно пробирки.
3. Проводом, через винт заземления, подключиться к контуру заземления, имеющему связь с землей.

4. Штепсельную вилку прибора вставить в электрическую розетку.
5. В поворотный кронштейн вставить индикатор и отвести его на четверть оборота в сторону до упора.
6. Лабораторным термометром замерить температуру воды в одной из пробирок (стержень при этом извлекается из пробирок).
7. Пробирку с испытуемым стержнем поместить в нагреватель.
8. Оттянуть шток индикатора вверх, установить индикатор над пробиркой (повернуть кронштейн до упора) и опустить шток углубление на торце стержня.
9. Заметить положение стрелки на шкале индикатора (для первого опыта стрелку лучше ставить на нулевую отметку).
10. Только после этого можно выключить питание прибора кнопочным выключателем. При этом должна загораться индикаторная лампа.

При закипании воды в пробирке испытуемый образец принимает температуру, равную температуре кипения воды. Увеличение длины образца определяется по отклонению стрелки индикатора от первоначального положения.

Отсчет ведут с точностью до 5 микрон. Для продолжения работы и проведения опытов с другими образцами необходимо:

1. Кнопочным выключателем отключить питание прибора.
2. Индикатор на поворотном кронштейне отвести в сторону до упора.
3. Извлечь из прибора нагретую пробирку и поместить ее в штатив.
4. Повторить операции пунктов 5-10 для другого образца. Поскольку, дальнейшая работа проводится при «разогретом» приборе, во избежание заметных искажений в замерах время с момента помещения пробирки в зону нагрева до фиксации первоначального положения стрелки индикатора не должно превышать 30-40 сек.

## Пример определения коэффициента линейного расширения стального образца

По окончании работы с прибором (после снятия показаний по всем образцам) приступают к подсчету численного значения коэффициента линейного расширения, который определяется по формуле:

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L(t_1 - t_0)}, \quad (1)$$

где  $\alpha$  - коэффициент линейного расширения,

$\Delta L$  - увеличение длины образца в мм,

$L$  - начальная длина образца 160 мм,

$t_0$  - первоначальная температура в пробирке,

$t$  - конечная температура воды в пробирке после нагревания, 100°C.

Для более точного определения коэффициента рекомендуется проводить несколько замеров и при вычислении брать среднее арифметическое значение приращения длины образца.

Точность определения коэффициента линейного расширения характеризуется средней квадратичной ошибкой:

$$E = \sqrt{\frac{\sum (\alpha_i - \alpha_{cp})^2}{n(n-1)}}, \quad (2)$$

где  $n$  - количество измерений ( $n = 5$ ),

$\alpha_i$  - измеренное значение коэффициента,

$\alpha_{cp}$  - среднее арифметическое значение коэффициента.

В формуле (2) вместо скобки  $(\alpha_i - \alpha_{cp})$  для упрощения вычислений можно брать значение приращения длины образца:

$$\Delta L_i - \Delta L_{cp}, \quad (2a)$$

где  $\Delta L_i$  - измеренное значение приращения длины образца,

$\Delta L_{cp}$  - среднее арифметическое значение приращения длины образца.

Тогда выражение (2) будет иметь вид:

$$E = \sqrt{\frac{\sum (L_i - L_{cp})^2}{n(n-1)}} . \quad (3)$$

Степень точности вычисления коэффициента линейного расширения в процентах характеризуется средней относительной квадратичной ошибкой измерения:

$$\varepsilon = \frac{E}{\alpha_{cp}} \cdot 100 \% .$$

Стальной стержень длиной  $L = 160$  мм помещен в пробирку с водой, температуры  $t_0 = 20^\circ\text{C}$ . Результаты пятикратного повторения опыта сведены в таблицу.

№ п/п	$l$ , мм	$t_0$ , °С	$t$ , °С	$\Delta L$ , мм	$\alpha$ , К <sup>-1</sup>	$\alpha_{cp}$ , К <sup>-1</sup>	$\Delta\alpha_i$ , К <sup>-1</sup>
1.							
2.							
3.							

### Контрольные вопросы

1. Как объяснить с точки зрения молекулярно-кинетической теории тепловое расширение?
2. В каких единицах измеряются  $\alpha$  и  $\beta$ ?
3. Выведите строгую формулу зависимости линейных размеров от температуры интегрированием уравнения.
4. Как связать  $\alpha$  и  $\beta$  для изотропных тел и почему?

### Л и т е р а т у р а

1. С.Э.Фриш, А.В.Тиморева. Курс общей физики, т. 1.
2. Курс физики под ред. акад. Папалески Н.Д., т.1.
3. Физический практикум под ред. В.К.Ивероновой.
4. А.К.Кикоин , И.К.Кикоин. Молекулярная физика.