

Лабораторная работа №29

Изучение расширения твердых тел

Цель работы: экспериментально определить коэффициенты линейного расширения твердых тел: стали, алюминия, стекла, бронзы.

Приборы и принадлежности: прибор для определения коэффициента линейного расширения, в состав которого входят стержневые образцы (стальной, алюминиевый, стеклянный и др.), стеклянные пробирки, индикатор малых перемещений (микрометр), термометр лабораторный, химический стакан с водой, штатив, штангенциркуль.

Виртуальная интерактивная установка «Изучение расширения твердых тел»: <http://efizika.ru/html5/29/index.html>

Краткая теория

Все твердые тела при охлаждении и нагревании изменяют свои размеры. Как правило, с повышением температуры размеры тел увеличиваются.

Как известно, твердые тела можно разделить на две группы: аморфные тела и кристаллические тела. К аморфным телам относятся стекло, пластмассы. Эти вещества ведут себя как жидкости с аномально большой вязкостью. Кристаллические вещества отличаются от аморфных правильным расположением частиц. В кристаллической решетке твердого тела каждая частица (ион, атом или молекула) имеет определенное положение равновесия, около которого она совершает колебания.

Взаимодействие между частицами любого вида в кристалле может быть представлено потенциальной кривой, изображенной на рисунке 21.1.

Кривая несимметрична относительно минимума. По этой причине только очень малые колебания около положения равновесия будут иметь гармонический характер. Если происходят гармонические колебания, то среднее положение частицы остается неизменным и совпадает с ее положением равновесия. Явление теплового расширения при этом отсутствует. С ростом амплитуды колебаний, (что происходит при повышении температуры), все сильнее будет проявляться агармоничность (отклонение колебаний от гармонических). При этом смещение в одну сторону из узла решетки занимает больше времени, чем в другую.

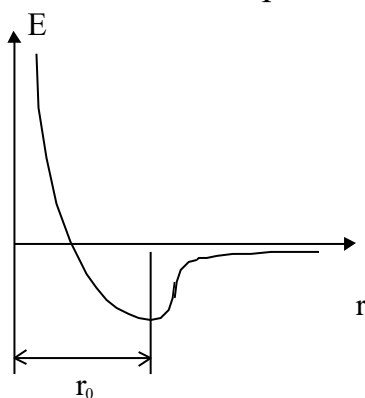


Рис. 21.1.

Это обусловлено характером зависимости сил взаимодействия между атомами от расстояния между ними. Как видно из рисунка 21.1, на больших расстояниях атомы практически не взаимодействуют друг с другом.

При уменьшении расстояния r возникает сила притяжения между атомами, которая увеличивается по модулю до некоторого расстояния r' . Затем сила притяжения уменьшается и при расстоянии r_0 между атомами она становится равной нулю. При дальнейшем уменьшении расстояния появляется сила отталкивания, которая быстро возрастает и при $r \rightarrow 0$ стремится к бесконечности.

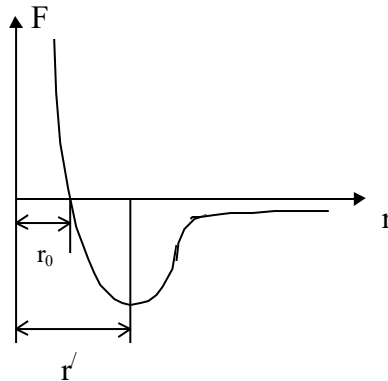


Рис. 2.

Таким образом, очевидно, что при возрастании амплитуды колебаний атомов вследствие нагревания кристалла, рост сил отталкивания между атомами преобладает над ростом сил притяжения. Это приводит к увеличению среднего расстояния между частицами и, следовательно, к увеличению объема тела при его нагревании.

Подводя итог, заключаем, что причиной теплового расширения твердых тел является агармоничность колебаний атомов в кристаллической решетке. Количественной характеристикой теплового расширения служат коэффициенты линейного и объемного расширения.

Пусть l_0 — длина образца при 0°C , l — длина образца при температуре t , тогда разность длин $\Delta l = l - l_0$ пропорциональна l_0 и разности температур Δt . Можно записать

$$l - l_0 = \alpha l_0 \Delta t, \quad (1)$$

где α — коэффициент пропорциональности, называемый коэффициентом линейного расширения. Из (1) имеем:

$$\alpha = \frac{l - l_0}{l_0 \Delta t} \quad \text{или} \quad \alpha = \frac{\Delta l}{l_0 \Delta t}. \quad (2)$$

Коэффициент линейного расширения, показывает увеличение каждой единицы длины тела при нагревании на 1 К, при этом считаем α не зависящим от температуры.

Практически при небольших изменениях температуры α незначительно изменяется, поэтому для расчетов можно воспользоваться величиной среднего коэффициента линейного расширения

$$\alpha = \frac{l_2 - l_1}{l_1(t_2 - t_1)} = \frac{\Delta l}{l_1(t_2 - t_1)}, \quad (3)$$

где t_1 и t_2 – начальная и конечная температуры тела, l_1 и l_2 – длина тела, соответствующая этим температурам.

Аналогично определяется коэффициент объемного расширения β :

$$\beta = \frac{V - V_0}{V_0(t - t_0)} = \frac{\Delta V}{V_0(t - t_0)}. \quad (4)$$

Коэффициент объемного расширения показывает увеличение каждой единицы объема тела при нагревании на 1 К.

Так как большинство кристаллов анизотропны, то коэффициент линейного расширения α для таких кристаллов будет различным в разных направлениях. Коэффициенты теплового расширения по трем кристаллографическим осям кристалла называются главными коэффициентами расширения и обозначаются α_1 , α_2 , α_3 . Тогда коэффициент объемного расширения кристалла выразится $\beta = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3$. Для кристаллов с кубической симметрией и для изотропных тел $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha$, тогда $\beta = 3\alpha$.

Ход работы

1. Ознакомьтесь с экспериментальной установкой и подготовить ее к работе.



Рис. 3. Виртуальная интерактивная установка «Изучение расширения твердых тел»: <http://efizika.ru/html5/29/index.html>

2. Установить параметры тока в электрической цепи U .
3. Стеклообразная пробирка на 1/2 объема заполнена водой комнатной температуры. Установить температуру воды в пробирке t_0 .
4. Установить начальную длину образца l_0 . Результаты занести в таблицу.
5. Выбрать материал исследуемого образца: стекло, бронза, сталь, алюминий. Опустить его в пробирку.
6. Включить питание кнопкой «Пуск». Довести воду до кипения $t = 100\text{ }^\circ\text{C}$. Увеличение длины образца определяется по отклонению стрелки индикатора малых перемещений в момент закипания воды Δl .
7. Для продолжения работы и проведения опытов с другими образцами необходимо отключить питание прибора кнопкой «Сброс».
8. Аналогично провести измерения для трех оставшихся образцов. Результаты занести в таблицу.
9. Провести поочередно измерения для каждого образца не менее трех раз.
10. Произвести расчет численного значения коэффициента линейного расширения α и определить погрешность измерений.
11. Рассчитать погрешности измерения.

1	2	3	4	5	
Испытуемый образец	№ опыта	Начальная длина l_0 , м	Начальная температура t_0 , $^\circ\text{C}$	Показания индикатора, м при	
				t_0 , $^\circ\text{C}$	t , 100°C
алюминиевый стержень	1				
	2				
	3				

6	7	8	9	10	11
Δl , м	α , $1/\text{K}$	$\alpha_{\text{ср}}$, $1/\text{K}$	Табличное α , $1/\text{K}$	$\Delta\alpha$, $1/\text{K}$	ϵ_α , %

12. Сформулировать выводы.

Контрольные вопросы

1. Объяснить тепловое расширение твердых тел.
2. Что называется коэффициентом линейного расширения?
3. Что называется коэффициентом объемного расширения?
4. Какая существует связь между коэффициентами линейного и объемного расширения?
5. Расскажите о методе определения коэффициента линейного расширения твердых тел, который используется в данной работе.
6. Проанализируйте, чем определяется погрешность измерения.

7. Запишите основные приборы и оборудование, необходимые для проведения данной работы.

Список литературы

1. Авцусь З.И. и др. Практикум по общей физике.– М., 1971.
2. Гершензон Е.М., Малов Н.Н., Мансуров А.Н., Эткин В.С. Курс общей физики. Молекулярная физика.– М.: Просвещение, 1982.
3. Зисман Г.А., Тодес О.М. Курс общей физики. Механика, молекулярная физика, колебания и волны.–Т.1.– М.: Наука, 1972.
4. Иверонова В.И. Физический практикум.– М., 1967.
5. Кикоин А.К., Кикоин И.К. Молекулярная физика.– М.: Наука, 1976.
6. Кудрявцев Б.Б. Курс физики. Теплота и молекулярная физика.– М.: Просвещение, 1965.
7. Лабораторный практикум по общей физике. Под редакцией Е.М. Гершензона и Н.Н. Малова.– М.: Просвещение, 1985.
8. Лабораторный практикум по физике. Под редакцией А.С. Ахматова.– М.: Высшая школа, 1980.
9. Лабораторный практикум по физике. Под редакцией К.А. Барсукова и Ю.И. Уханова.– М.: Высшая школа, 1988.
10. Радченко И.В. Молекулярная физика.– М.:Наука, 1965.
11. Савельев И.В. Курс общей физики. Механика, колебания и волны, молекулярная физика.–Т.1.– М.: Наука, 1973.
12. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Термодинамика и молекулярная физика.– М.: Наука, 1979.
13. Трофимова Т.И. Курс физики.– М.: Высшая школа, 1999.
14. Уродов В.И., Стрижнев В.С. Практикум по физике.– Минск: Высшэйшая школа, 1973.
15. Фриш С.Э., Тиморева А.В. Курс общей физики. Физические основы механики. Молекулярная физика. Колебания и волны.– Т.1. – М.: Физматгиз, 1962.