

МИНИСТЕРСТВО
ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

24.10
С23

Рекомендовано
Учебно-методическим управлением
по высшему образованию

СБОРНИК НАУЧНО- МЕТОДИЧЕСКИХ СТАТЕЙ ПО ФИЗИКЕ

ВЫПУСК 14

Издается с 1968 г.

718914



Москва «Высшая школа» 1988

Главный редактор А.А. Абрикосов

Заместитель главного редактора Л.В. Тарасов

Ответственный секретарь Н.Н. Романовская

Редакционная коллегия: Б.С. Беликов, А.С. Вшивцев, Г.Н. Гайдуков, Е.С. Гридасова, В.А. Дементьев, В.Б. Зернов, Н.П. Калашников, С.Г. Каленков, С.М. Козел, В.А. Лурье, А.Н. Мансуров, Т.Г. Михалева, Ф.А. Николаев, В.Н. Пономарев, А.Н. Ремизов, В.В. Светозаров, Ю.А. Селезнев, А.С. Сигов, Г.И. Соломахо, С.Ф. Шилова.

Редакционный совет: А.С. Александров, А.М. Васильев, А.Д. Гладун, Л.А. Грибов, Г.И. Елифанов, А.Н. Матвеев, Л.П. Питаевский, И.А. Яковлев

С23 Сборник научно-методических статей по физике. Вып. 14. — М.: Высш. шк., 1988. — 152 с.: ил.

С $\frac{1704010000(4309000000) - 410}{001(01) - 88} 59-88$

ББК 22.3
53

Учебное издание

СБОРНИК НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИХ СТАТЕЙ ПО ФИЗИКЕ

Выпуск 14

Зав. редакцией учебно-методической литературы по физике и математике
Е.С. Гридасова

Редактор *С.А. Крылов*. Младшие редакторы *Г.В. Вятоха, Н.П. Майкова*
Художественный редактор *В.И. Пономаренко*. Технический редактор *Е.В. Фельдман*
Корректор *Г.И. Кострикова*. Оператор *С.Г. Кучирь*

Н/К

Изд. № ФМ-962. Сдано в набор 22.03.88. Подп. в печать 12.07.88. Т-15535.
Формат 60×90¹/₁₆. Бум. офс. № 2. Гарнитура Пресс-Роман. Печать офсетная.
Объем 9,50 усл. печ. л. 9,75 усл. кр.-отт. 10,29 уч.-изд. л.
Тираж 3500 экз. Заказ № 655. Цена 30 коп.

Издательство "Высшая школа", 101430, Москва, ГСП-4, Неглинная ул., д. 29/14.

Набрано на наборно-пишущих машинах издательства

Отпечатано в Московской типографии № 8 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 101898, Москва, Центр, Хохловский пер., 7.



© Министерство высшего и среднего специального образования СССР, 1988

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОвого РАСШИРЕНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ (МЕТАЛЛОВ)

И.Т. ГОРБАЧУК, В.П. СЕРГИЕНКО,
А.В. ЗОРЬКА, С.С. ОСАУЛЕНКО

1. Введение

Из опытов известно, что все вещества независимо от их агрегатного состояния при нагревании расширяются, а при охлаждении сжимаются (исключение составляют в определенном интервале температур вода, чугун, висмут и некоторые сплавы). Это явление называют *тепловым расширением*, и оно играет важную роль в природе и практике. Детали разных конструкций, машин и приборов при их эксплуатации работают в режимах переменных температур. Поэтому возникает необходимость теоретического расчета возможных изменений размеров тел и возникающих в них механических деформаций.

На основании молекулярно-кинетической теории строения вещества тепловое расширение объясняется изменением средних расстояний между частицами (атомами, молекулами, ионами) при изменении температуры. Силы взаимодействия между этими частицами имеют преимущественно электромагнитную природу. Между частицами вещества существуют как силы притяжения, так и силы отталкивания, обусловленные наличием и движением зарядов, входящих в состав этих частиц. Результирующая потенциальная энергия Π взаимодействия двух частиц равна сумме потенциальных энергий притяжения Π_1 и отталкивания Π_2 (*потенциал Леннарда-Джонса*) [1]:

$$\Pi = \Pi_1 + \Pi_2, \text{ или } \Pi = -\frac{a}{r^m} + \frac{b}{r^n}, \quad (1)$$

где a и b , а также m и n — константы, отражающие особенности строения и взаимодействия частиц вещества; r — расстояние между частицами.

Характерный график зависимости потенциальной энергии взаимодействия от расстояния между частицами 1 и 2 представлен на рис. 1 [1].

При $T = 0$ К тепловое движение отсутствует и частицы находятся в положении равновесия на расстоянии r_0 , что соответствует минимуму потенциальной энергии взаимодействия.

С повышением температуры частицы начинают колебаться с нарастающей амплитудой. При температуре T_1 частица отклоняется влево к

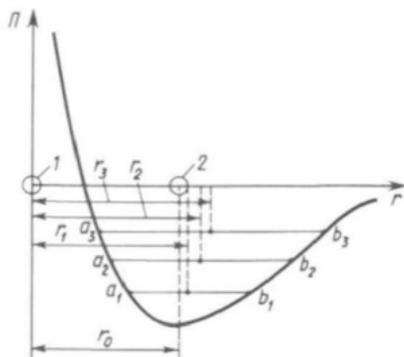


Рис. 1

точке a_1 и вправо к точке b_1 . Вследствие асимметричности потенциальной кривой среднее положение колеблющейся частицы уже не совпадает с r_0 , а сдвинется вправо до значения r_1 . При температуре T_2 среднее положение колеблющейся частицы определится расстоянием r_2 и т.д. Как видно из рис. 1, $r_0 < r_1 < r_2 < \dots$. Таким образом, с повышением температуры новые центры равновесия, относительно которых частицы осуществляют колебания, отдаляются один от другого.

Теоретически установлено [2], что среднее смещение частиц $\langle x \rangle$ при тепловых колебаниях определяется формулой

$$\langle x \rangle = AkT, \quad (2)$$

где T — термодинамическая температура; k — постоянная Больцмана; A — константа, зависящая от характера сил взаимодействия между частицами.

Следует подчеркнуть, что суммарная сила, которая действует между частицами, не квазиупругая, поэтому и колебания под действием этих сил ангармонические, т.е. частицы легче удаляются одна от другой, чем приближаются.

Таким образом, вследствие ангармоничности тепловых колебаний частиц среднее расстояние между ними увеличивается по сравнению с r_0 пропорционально температуре вещества. Увеличение среднего расстояния между частицами с ростом температуры и является причиной теплового расширения тел.

Экспериментально установлено, что относительное изменение длины dl/l твердых тел при нагревании или охлаждении пропорционально изменению температуры dT при постоянном давлении p [1]:

$$dl/l = a dT, \quad (3)$$

где a — коэффициент пропорциональности, который называют температурным коэффициентом линейного расширения; dl — абсолютное изменение длины тела; l — начальная длина.

Температурный коэффициент линейного расширения a не является постоянной величиной, а зависит от температуры. Эта зависимость особенно заметна при низких температурах [1].

Таким образом, a есть параметр, характеризующий тепловое расширение твердого тела при данной температуре, а не в определенном температурном интервале.

В общем случае для произвольного температурного интервала ΔT средний температурный коэффициент линейного расширения $\langle a \rangle$ определяется по формуле

$$\langle a \rangle = \frac{\Delta l}{l_1 \Delta T}, \quad (4)$$

где l_1 — длина тела при более низкой температуре; ΔT — разность температур; Δl — абсолютное удлинение тела при нагревании на ΔT .

Коэффициент $\langle a \rangle$ представляет собой среднее относительное изменение длины тела при изменении температуры на 1 К для данного интервала температур.

Определяя экспериментально $\langle a \rangle$ данного твердого тела, на ос-

довании закона Гука можно рассчитать деформации и напряжения, которые возникают в деталях и конструкциях при изменении температуры на ΔT . Поскольку $\langle a \rangle$ зависит от T , важно экспериментально исследовать эту зависимость.

2. Описание установки

Установка для определения $\langle a \rangle$ (рис. 2) состоит из латунной трубки 1, средний температурный коэффициент линейного расширения которой определяют, металлической спирали-нагревателя 5, которую изолируют, вводят в середину трубки 1 и присоединяют через газовое реле 2 ТУР366 (ГДР) ко вторичной обмотке автотрансформатора 3 (типа РНШ-250). Для определения температуры исследуемого образца поверх трубки 1 намотан интегральный медный термометр сопротивления 4 ($R \approx 50 \text{ Ом}$).

Сопротивления термометра при различных T измеряют с помощью цифрового прибора 6 типа В7-27.

Температуру исследуемого образца определяют с помощью градуировочной кривой $R = f(T)$ с точностью до 0,1 К.

Исследование $\langle a \rangle = f(T)$ можно проводить в различных температурных интервалах. Значения этих интервалов задают с помощью температурного реле 2, шкалу которого также предварительно градуируют.

Изменение длины исследуемой трубки определяют с помощью индикатора 7 типа ИЧ с точностью 10^{-5} м. Начальную длину трубки измеряют с точностью до $0,1 \cdot 10^{-3}$ м.

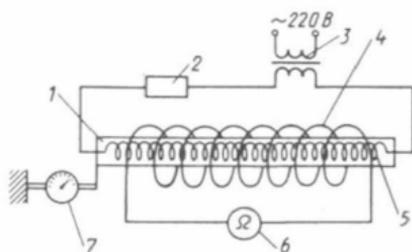


Рис. 2

3. Измерение и обработка данных

Для расчетов $\langle a \rangle$ удобно пользоваться формулой (4). В качестве l_1 берут длину образца при комнатной температуре T_1 , а Δl — изменение длины при увеличении температуры на ΔT (т.е. до T_2). Для следующего такого же температурного интервала для расчета $\langle a \rangle$ следует брать за начальную длину l_2 , тогда Δl — последующее изменение длины трубки при повышении температуры до T_3 и т.д.

Верхним пределом температур взято значение 423 К, и измерения проводились через $\Delta T = 10 \text{ К}$.

Полученные экспериментальные результаты и погрешности их измерения представлены в табл. 1.

№ п/п	Температура образца, T_i , К	Длина образца, l_i , м	Абсолютное удлинение образца $\Delta l_i \cdot 10^3$ м	Погрешность измерений		
				$\langle a \rangle_i \cdot 10^5, \text{К}^{-1}$	$\Delta \langle a \rangle_i \cdot 10^6, \text{К}^{-1}$	$\epsilon_i, \%$
1	293	1,100	0,00	—	—	—
2	303	1,10020	0,20	1,818	1,11	6,09
3	313	1,10042	0,22	1,999	1,13	5,64
4	323	1,10065	0,23	2,090	1,14	5,44
5	333	1,10089	0,24	2,181	1,15	5,26
6	343	1,10114	0,25	2,271	1,16	5,09
7	353	1,10140	0,26	2,361	1,17	4,94
8	363	1,10167	0,27	2,451	1,18	4,79
9	373	1,10195	0,28	2,542	1,18	4,66
10	383	1,10223	0,28	2,542	1,18	4,66
11	393	1,10252	0,29	2,631	1,19	4,54
12	403	1,10281	0,29	2,631	1,19	4,54
13	413	1,10310	0,29	2,631	1,19	4,54
14	423	1,10339	0,29	2,631	1,19	4,54

Характер зависимости $\langle a \rangle = f(T)$ соответствует параболическому закону (рис. 3).

Расчет $\langle a \rangle$ и погрешностей измерения производят с помощью программируемого микрокалькулятора МК-54 по составленной нами программе (табл. 2 в приложении).

Относительную погрешность ϵ определяют по формуле

$$\epsilon_i = \frac{\Delta \langle a \rangle}{\langle a \rangle} = \frac{\Delta(\Delta l)}{\Delta l_i} + \frac{\Delta l^*}{l_i} + \frac{\Delta(\Delta T_i)}{\Delta T_i}, \quad (5)$$

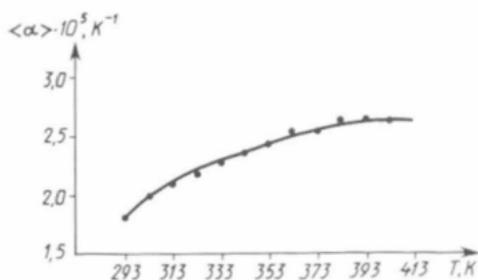


Рис. 3

где $\Delta(\Delta l)$ — абсолютная погрешность измерения удлинения трубки в определенном температурном интервале $\Delta T_i = T_{i+1} - T_i$; Δl^* — абсолютная погрешность измерения длины образца; Δl_i — удлинение образца, вызванное нагреванием от температуры T_i до температуры T_{i+1} ; l_i — длина образца при температуре T_i ; $\Delta(\Delta T_i)$ — абсолютная погрешность измерения разности температур образца; ΔT_i — температурный интервал нагревания. Абсолютную погрешность $\Delta \langle a \rangle$ определяют по формуле

$$\Delta \langle a \rangle_i = \epsilon_i \langle a \rangle_i. \quad (6)$$

Предлагаемая лабораторная работа модернизирована на основе

традиционного метода Менделеева [3]. Выполнение этой работы должно способствовать более глубокому изучению теории и механизма теплового расширения твердых тел, а также более полному пониманию физического смысла коэффициента α .

ПРИЛОЖЕНИЕ

Инструкция по использованию программы к МК-54 (табл. 2) для расчета $\langle a \rangle$ и погрешностей ее определения

1. Заносим точности измеряемых величин в регистры памяти в следующем порядке:

$$\Delta(\Delta l) = 10^{-5} \text{ м} \rightarrow Pa,$$

$$\Delta l^* = 10^{-3} \text{ м} \rightarrow Pb,$$

$$\Delta T = 0,1 \text{ К} \rightarrow Pc.$$

2. Переходим в программируемый режим работы. Для этого нажимаем клавиши "F", "ПРГ".

3. Заносим программу для вычисления $\langle a \rangle_i, \Delta \langle a \rangle_i, \epsilon_i$ (табл. 2).

4. Переходим в автоматический режим. Для этого нажимаем клавиши "F", "АВТ".

5. Нажимаем клавишу "В/О".

6. Последовательность дальнейших действий:

а) набираем значение Δl_1 на индикаторе и нажимаем клавишу "С/П";

б) набираем значение Δl_2 на индикаторе и нажимаем клавишу "С/П";

в) набираем значение l_1 на индикаторе и нажимаем клавишу "С/П";

г) набираем значение ΔT на индикаторе и нажимаем клавишу "С/П";

д) после остановки на индикаторе значения $\langle a \rangle_i$ для определенного температурного интервала нажимаем клавишу "С/П" и после остановки получаем значение ϵ_i . Нажимаем клавишу "С/П" — значение $\Delta \langle a \rangle_i$.

7. Для вычисления нового значения $\langle a \rangle_i$, его абсолютной и относительной погрешностей необходимо нажать клавишу "В/О" и повторить действия предыдущего пункта сначала.

Таблица 2

Адрес команды	Команда	Код команды	Содержание команды
00	$x \rightarrow P1$	41	$\Delta l_1 \rightarrow P1$
01	С/П	50	
02	$x \rightarrow P2$	42	$\Delta l_2 \rightarrow P2$
03	С/П	50	

Адрес команды	Команда	Код команды	Содержание команды
04	$x \rightarrow \text{ПЗ}$	43	$l_i \rightarrow \text{PЗ}$
05	C/П	50	
06	$x \rightarrow \text{П4}$	44	$\Delta T \rightarrow \text{P4}$
07	$\text{П} \rightarrow x2$	62	$\Delta l_2 \rightarrow \text{PX}$
08	$\text{П} \rightarrow x1$	61	$\Delta l_1 \rightarrow \text{PX}, \Delta l_2 \rightarrow \text{PY}$
09	-	11	$\Delta l = \Delta l_2 - \Delta l_1 \rightarrow \text{PX}$
10	$\text{П} \rightarrow x3$	63	$l_i \rightarrow \text{PX}, \Delta l \rightarrow \text{PY}$
11	\div	13	$\frac{\Delta l}{l_i} \rightarrow \text{PX}$
12	$\text{П} \rightarrow x4$	64	$\Delta T \rightarrow \text{PX}, \frac{\Delta l}{l_i} \rightarrow \text{PY}$
13	\div	13	$\frac{\Delta l}{l_i \Delta T} \rightarrow \text{PX} = \langle a \rangle_i$
14	$x \rightarrow \text{ПО}$	40	$\langle a \rangle_i \rightarrow \text{PO}$
15	C/П	50	СТОП
16	$\text{П} \rightarrow x2$	62	$\Delta l_2 \rightarrow \text{PX}$
17	$\text{П} \rightarrow x1$	61	$\Delta l_1 \rightarrow \text{PX}, \Delta l_2 \rightarrow \text{PY}$
18	-	11	$\Delta l_2 - \Delta l_1 \rightarrow \text{PX}$
19	F 1/x	23	$1/\Delta l \rightarrow \text{PX}$
20	$\text{П} \rightarrow xa$	6-	$\Delta(\Delta l) \rightarrow \text{PX}, 1/\Delta l \rightarrow \text{PY}$
21	X	12	$\Delta(\Delta l)/\Delta l \rightarrow \text{PX}$
22	$x \rightarrow \text{Пd}$	4Г	" - " $\rightarrow \text{Pd}$
23	$\text{П} \rightarrow xb$	6L	$\Delta l^* \rightarrow \text{PX}$
24	$\text{П} \rightarrow x3$	63	$l_i \rightarrow \text{PX}, \Delta l^* \rightarrow \text{PY}$
25	\div	13	$\frac{\Delta l^*}{l_i} \rightarrow \text{PX}$
26	$\text{П} \rightarrow xd$	6Г	$\Delta(\Delta l)/\Delta l \rightarrow \text{PX}, \Delta l^*/l_i \rightarrow \text{PY}$
27	+	10	$\Delta(\Delta l)/\Delta l + \Delta l^*/l_i \rightarrow \text{PX}$
28	$x \rightarrow \text{Пd}$	4Г	" - " - " $\rightarrow \text{Pd}$
29	$\text{П} \rightarrow xc$	6	$\Delta(\Delta T) \rightarrow \text{PX}$
30	$\text{П} \rightarrow x4$	64	$\Delta T \rightarrow \text{PX}, \Delta(\Delta T) \rightarrow \text{PY}$
31	\div	13	$\Delta(\Delta T)/\Delta T \rightarrow \text{PX}$
32	$\text{П} \rightarrow xd$	6Г	$\Delta(\Delta l)/\Delta l + \Delta l^*/l_i \rightarrow \text{PX}, \Delta(\Delta T)/\Delta T \rightarrow \text{PY}$
33	+	10	$\epsilon_i \rightarrow \text{PX},$
34	C/П	50	
35	$\text{П} \rightarrow x0$	60	$\langle a \rangle_i \rightarrow \text{PX}, \epsilon_i \rightarrow \text{PY}$
36	X	12	$\Delta \langle a \rangle \rightarrow \text{PX}$
37	C/П	50	

Литература

- Новикова С.И. Тепловое расширение твердых тел. - М.: Наука, 1974. - 292 с.
- Астахов А.В. Курс физики. Т. 1. Механика. Кинетическая теория материи. - М.: Наука, 1977. - 384 с.

УДК 74.580.253:74.580.267

**ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭВМ
ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ
ПО ФИЗИКЕ**

А.В. БАРАНОВ, В.В. ДАВИДКОВ

В настоящее время перед высшей школой с особой остротой встала задача повышения качества подготовки специалистов, что требует разработки современных средств организации процесса эффективного и прочного усвоения и закрепления знаний. Одним из таких средств является самостоятельная работа студентов, совершенствованию и активизации которой несомненно должно уделяться большое внимание.

С внедрением вычислительной техники в учебный процесс появились новые возможности и формы организации самостоятельной работы студентов.

Авторами разработана методика построения программного обеспечения, используемого при организации различных форм самостоятельной работы студентов по физике. При разработке методики авторы использовали комплексный подход, опирающийся на психологические, дидактические и кибернетические аспекты организации учебной познавательной деятельности, на принцип структурного построения программного обеспечения ЭВМ, на иллюстративные возможности, предоставляемые компьютерной графикой.

В практике программного обеспечения ЭВМ мы выделяем следующие основные компоненты: обучающие программы, программы-задачи и моделирующие программы. Обучающие программы предназначены для формирования знаний на первом и втором уровнях (по классификации уровней знаний, предложенной В.П. Беспалько [1]). Они используются студентами во время самостоятельной работы без участия преподавателя (при подготовке к практическим и лабораторным занятиям, на консультациях). Программы-задачи и моделирующие программы предназначены для формирования знаний на втором и третьем уровнях. Программы-задачи используются на практических занятиях при решении задач. Моделирующие программы используются, в частности, на лабораторных занятиях для математического моделирования физических процессов, исследованных при выполнении физического эксперимента.

Во всех типах программ используются универсальные программы, реализующие повторяющиеся функции:

расчеты по уравнениям математической модели;