

文章编号:1005-4642(2020)09-0061-03

用温度计测量酒精的体积膨胀系数

罗倩,张皓晶

(云南师范大学物理与电子信息学院,云南昆明 650500)

摘要:温度计毛细管中酒精的长度变化 ΔL_1 与温度改变 ΔT_1 成正比,通过拟合 $\Delta L_1-\Delta T_1$ 获得斜率 S_1 ,由已知毛细管的横截面积 A_1 和酒精初始体积 V_1 ,计算得到酒精的体积膨胀系数.对于毛细管的横截面积和酒精初始体积未知的温度计,可以更换不同量程和精度的温度计,拟合 $\Delta L_2-\Delta T_2$ 获得斜率 S_2 ,拟合 $\Delta L_1-\Delta L_2$ 获得斜率 S_3 ,由 S_2, S_3, V_1 和 A_1 计算得到酒精的体积膨胀系数.

关键词: 体积膨胀系数;线性拟合;温度计;酒精

中图分类号:G633.7

文献标识码:A

DOI:10.19655/j.cnki.1005-4642.2020.09.013

热膨胀系数决定了给定物质随温度升高或降低的扩张能力,可以分为线性膨胀系数、面积膨胀系数和体积膨胀系数.液体的体积膨胀系数可由膨胀计测量,例如,实验中可直接由膨胀计测得水的体积膨胀系数^[1].由于酒精的热敏性,在讨论热膨胀现象时,酒精已成为传统教科书和章末习题中涉及最多的物质之一.本文旨在用简单的方法和实验装置获得酒精的体积膨胀系数.

1 实验原理

1.1 已知球茎截面和球泡体积的温度计

温度计毛细管1中的酒精体积随温度的变化而膨胀或者收缩,温度改变量 ΔT_1 与体积的变化量 ΔV_1 之间成正比例关系^[2],即

$$\Delta V_1 = \gamma_1 V_1 \Delta T_1, \quad (1)$$

式中, γ_1 和 V_1 分别为酒精的体积膨胀系数和初始体积(在一定的初始温度下,温度计球泡和毛细管中酒精的总体积).式(1)可以写为

$$\Delta L_1 = \gamma_1 \frac{V_1}{A_1} \Delta T_1, \quad (2)$$

式中, A_1 为温度计毛细管的横截面积.式(2)中 ΔL_1 与 ΔT_1 线性相关,设其斜率为 S_1 ,即

$$S_1 = \gamma_1 \frac{V_1}{A_1}. \quad (3)$$

通过拟合 $\Delta L_1-\Delta T_1$ 获得斜率 S_1 ,将 A_1 和 V_1 代入式(3),获得酒精的体积膨胀系数 γ_1 .

1.2 球茎截面和球泡体积未知的温度计

温度计毛细管2的横截面积为 A_2 ,初始体积为 V_2 (在一定的初始温度下,球泡和毛细管中酒精的总体积).由1.1可知以下关系成立:

$$\Delta V_2 = \gamma_2 V_2 \Delta T_2, \quad (4)$$

$$\Delta L_2 = \gamma_2 \frac{V_2}{A_2} \Delta T_2, \quad (5)$$

$$S_2 = \gamma_2 \frac{V_2}{A_2}. \quad (6)$$

式中, ΔT_2 为温度改变量, ΔV_2 是酒精相应体积变化量, γ_2 和 V_2 分别为酒精的体积膨胀系数和初始体积.

将 γ_1 的表达式(3)和 γ_2 的表达式(6)等效,得到:

$$\frac{A_1}{V_1} S_1 = \frac{A_2}{V_2} S_2, \quad (7)$$

由式(7)可得:

$$S_1 = \left[\frac{V_1}{A_1} \right] \left[\frac{A_2}{V_2} \right] S_2. \quad (8)$$

因为

$$S_1 = \frac{\Delta L_1}{\Delta T_1}, \quad (9)$$

收稿日期:2020-04-02

作者简介:罗倩(1995-),女,四川绵阳人,云南师范大学物理与电子信息学院2018级硕士研究生,研究方向为课程与教学论(物理).

通讯作者:张皓晶(1982-),男,云南昆明人,云南师范大学物理与电子信息学院副教授,博士,从事大学物理教学. E-mail:kmzhanghj@163.com



$$S_2 = \frac{\Delta L_2}{\Delta T_2}, \quad (10)$$

对于任意初始体积 (V_1 和 V_2)、截面面积 (A_1 和 A_2) 以及精度都不同的温度计, 在实验中可以使温度的变化 ΔT_1 和 ΔT_2 相等. 因此, 由式(9)和式(10)可得:

$$S_1 \Delta L_2 = S_2 \Delta L_1, \quad (11)$$

代入式(8)时, 得到:

$$\frac{V_2}{A_2} = \left[\frac{V_1}{A_1} \right] \left[\frac{\Delta L_2}{\Delta L_1} \right], \quad (12)$$

将式(12)代入式(6)得到

$$\Delta L_1 = \left[\frac{\gamma_2}{S_2} \right] \left[\frac{V_1}{A_1} \right] \Delta L_2. \quad (13)$$

由式(13)可知 ΔL_1 和 ΔL_2 线性相关, 斜率 S_3 为

$$S_3 = \left[\frac{\gamma_2}{S_2} \right] \left[\frac{V_1}{A_1} \right]. \quad (14)$$

在已知 S_3 , S_2 , V_1 和 A_1 情况下, 可以通过式(14)得到酒精的体积膨胀系数.

2 实 验

2.1 已知球茎截面和球泡体积的温度计

实验装置如图 1 所示, ΔL 为酒精柱长度的变化, L_f 是升温到最高温度后的长度. 酒精温度计 1 的量程为 100°C , 精度 1°C , 酒精柱的高度从温度计的下端到 35°C 的标高为 $L_0 = 18.10\text{ cm}$, $A_1 = 1.2 \times 10^{-3}\text{ cm}^2$. 烧杯内装入热水, 用卷尺测量酒精柱的高度. 设球泡中酒精的体积为 V_1' , 已知等于 0.12 cm^3 . 固定初始温度为 35°C , 将温度计浸入盛热水的烧杯中, 使温度稳定在 35°C . 测出 35°C 相对于球泡顶端对应的酒精柱高度为 16.50 cm , 毛细管中酒精的体积为 0.0198 cm^3 , 酒精的初始体积 V_1 为 0.1398 cm^3 .

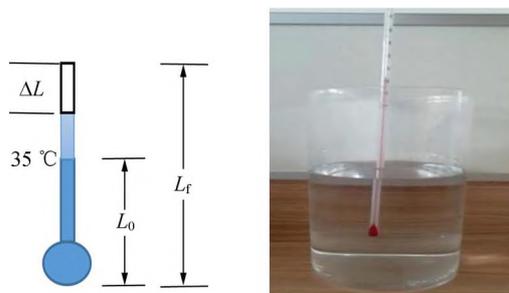


图 1 实验装置

采集 ΔT_1 和 ΔL_1 的数据时, 将温度计浸入盛热水烧杯中, 改变热水的温度, 从而将酒精的温度

从 35°C 升高到稳定的最终温度 T_f . 在特定的最后温度下, 用单独的温度计读数, 测量相对应温度下的酒精柱高度, 再将变化长度减去 18.10 cm , 得到酒精柱在特定温度下伸长的长度 ΔL_1 . 同样, L_f 是相对于温度计球泡的下端测量的. 类似地, 温度 ΔT_1 也要由 T_f 减去初始温度 35°C . 测量 8 个数据, 每次酒精的初始温度都为 35°C . 实验数据见表 1.

表 1 实验数据 1 ($T_0 = 35.0^\circ\text{C}$, $L_0 = 18.10\text{ cm}$)

$T_f / ^\circ\text{C}$	L_f / cm	$\Delta L_1 / \text{cm}$	$\Delta T_1 / ^\circ\text{C}$
40.0	19.12	1.02	5.0
45.0	19.80	1.70	10.0
50.0	20.30	2.20	15.0
55.0	21.08	2.98	20.0
60.0	21.68	3.58	25.0
65.0	22.30	4.20	30.0
70.0	22.95	4.85	35.0
75.0	23.60	5.50	40.0

$\Delta L_1 - \Delta T_1$ 图像如图 2 所示, 使用 Excel 拟合数据, 得到长度变化与温度变化的线性关系, 斜率 $S_1 = 0.128$, 解得体积膨胀系数 $\gamma_1 = 1.104 \times 10^{-3}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. 查阅文献[3]得知酒精的体积膨胀系数为 $1.1 \times 10^{-3}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, 相对偏差为 0.36% .

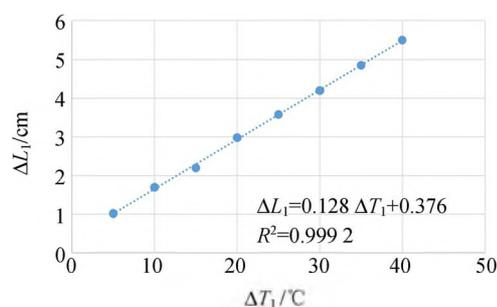


图 2 $\Delta L_1 - \Delta T_1$ 图像

2.2 球茎截面和球泡体积未知的温度计

温度计 2 的量程为 200°C , 精度为 2°C , 酒精柱从温度计的下端到 35°C 的标高为 13.70 cm , 球泡的体积和球茎的横截面积未知. 采集数据点 ΔL_2 和 ΔT_2 . 按照 2.1 步骤完成实验, 但有约束条件, 即所有的温度变化 ΔT_2 应等于 2.1 实验得到的温度变化 ΔT_1 [与式(10)一致]. 此外, 将初始温度固定在 35°C , 同时将初始温度提高到与 2.1 相同的最终温度 T_f . 对应温度变化 ΔT_2 , 取

对应的高度变化 ΔL_2 , 其值应与 ΔL_1 不同. 实验数据见表 2. $\Delta L_2-\Delta T_2$ 图像如图 3 所示, 使用 Excel 拟合数据, 得到长度变化与温度变化的线性关系, 其斜率为 $S_2=0.064$.

表 2 实验数据 2 ($T_0=35.0\text{ }^\circ\text{C}$, $L_0=13.70\text{ cm}$)

$T_t/^\circ\text{C}$	L_t/cm	$\Delta L_t/\text{cm}$	$\Delta T_t/^\circ\text{C}$
40.0	14.00	0.30	5.0
45.0	14.35	0.65	10.0
50.0	14.65	0.95	15.0
55.0	14.95	1.25	20.0
60.0	15.25	1.55	25.0
65.0	15.60	1.90	30.0
70.0	15.95	2.25	35.0
75.0	16.25	2.55	40.0

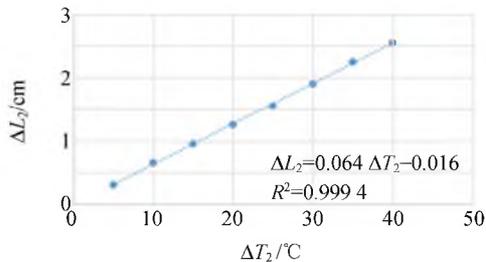


图 3 $\Delta L_2-\Delta T_2$ 图像

绘制 $\Delta L_1-\Delta L_2$, 如图 4 所示, 并且做线性回归得到 $S_3=1.995$. 将 S_3 代入式(14), 由 A_1, V_1 和 S_2 , 得到酒精的体积膨胀系数 $\gamma=1.102 \times 10^{-3}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, 与标准值 $1.1 \times 10^{-3}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ 的相对偏差为 0.18%.

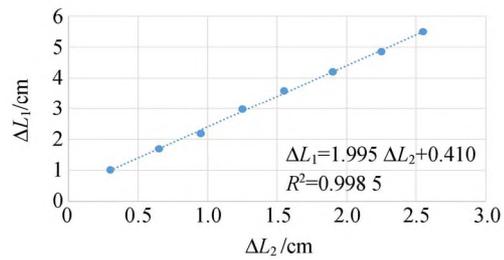


图 4 $\Delta L_1-\Delta L_2$ 图像

4 结束语

利用生活中常见的材料, 设计了简便且易行的测量或者演示酒精的体积膨胀系数实验. 学生参与实验, 体验学习物理的乐趣. 教师可以选择 2.1 实验(V_1 和 A_1 已知), 通过酒精柱长度变化提供多对数据点来计算酒精的体积膨胀系数. 2.2 实验(V_2 和 A_2 未知)需要理论推导和测量多组数据, 因此 2.2 实验可以作为学生的课外兴趣实验.

参考文献:

[1] 贾玉润, 王公冶, 凌佩玲. 大学物理实验[M]. 上海: 复旦大学出版社, 1987: 158.
 [2] Pili U, Violanda R R, Ceniza C, et al. Extract the coefficient of volume expansion of mercury from a thermometer [J]. Physics Educating, 2018(53): 063001
 [3] 杨述武. 普通物理实验[M]. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2000: 271.

Measuring the volume expansion coefficient of alcohol

LUO Qian, ZHANG Hao-jing

(College of Physics and Electronic Information, Yunnan Normal University, Kunming 650500, China)

Abstract: The length variations ΔL_1 of the alcohol of thermometer capillaries were proportional to the temperature variations ΔT_1 . The gradient S_1 could be obtained by fitting the $\Delta L_1-\Delta T_1$ data. The volume expansion coefficient could be calculated based on the cross-sectional area A_1 and the initial volume V_1 of the alcohol. For the capillaries whose cross-sectional area and initial alcohol volume were unknown, the gradient S_2 could be obtained by fitting $\Delta L_2-\Delta T_2$ data, and S_3 by fitting $\Delta L_1-\Delta L_2$ data by choosing thermometers with different ranges and precisions. The volume expansion coefficient could be given by calculation dependent on the factors S_2, S_3, V_1 and A_1 .

Key words: volume expansion coefficient; linear fitting; thermometer; alcohol

[责任编辑:任德香]