

《基础物理实验》实验报告

学号 00000000 姓名 我是谁 实验日期 2025.05.06 星期 二 下午

空气比热容比的测定

一、实验目的

1. 用绝热膨胀法测定空气的比热容比。
2. 观测热力学过程中状态变化及基本物理规律。

二、实验仪器

空气比热容测定仪(含 AD590 温度传感器和扩散硅压力传感器)、温度计(测室温)、气压计(测环境气压)。

三、实验原理

理想气体的压强 P 、体积 V 和温度 T 在准静态绝热过程中, 遵守绝热过程方程: PV^γ 等于恒量, 其中 γ 是气体的定压比热容 C_P 和定容比热容 C_V 之比, 通常称 $\gamma = \frac{C_P}{C_V}$ 为该气体的比热容比(亦称绝热指数)。如图 1 所示, 我们以贮气瓶内空气(近似为理想气体)作为研究的热学系统, 试进行如下实验过程。

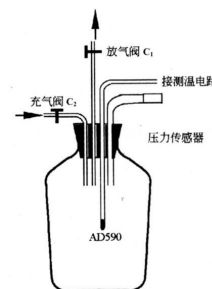


图 1: 实验装置图

(1) 首先打开放气阀 C_1 , 贮气瓶与大气相通, 再关闭 C_1 , 瓶内充满与周围空气同温(设为 T_0) 同压(设为 P_0) 的气体。

(2) 打开充气阀 C_2 用充气球向瓶内打气, 充入一定量的气体, 然后关闭充气阀 C_2 。此时瓶内空气被压缩, 压强增大, 温度升高。等待内部气体温度稳定, 即达到与周围温度平衡, 此时的研究的气体处于状态 I(P_1, V_1, T_0)。虽然瓶内气体的体积为贮气瓶容积 V_0 , 而仅有 V_1 部分 ($V_1 < V_0$) 是实验研究的对象, 如图 2。

(3) 迅速打开放气阀 C_1 , 使瓶内气体与大气相通, 当瓶内压强降至 P_0 时, 立刻关闭放气阀 C_1 将有体积为 ΔV 的气体喷泻出贮气瓶。由于放气过程较快, 瓶内保留的气体来不及与外界进行热交换, 可以认为是一个绝热膨胀的过程。在此过程后瓶中的气体由状态 I(P_1, V_1, T_0) 转变为状态 II(P_0, V_0, T_1)。 V_0 为贮气瓶容积, V_1 为保留在瓶中这部分气体在状态 I(P_1, T_0) 时的体积。

(4) 由于瓶内气体温度 T_1 低于室温 T_0 , 所以瓶内气体慢慢从外界吸热, 直至达到室温 T_0 为止, 此时瓶内气体压强也随之增大为 P_2 。则稳定后的气体状态为 III(P_2, V_0, T_0); 从状态 II 到状态 III 的过程可以看作是一个等容吸热的过程。

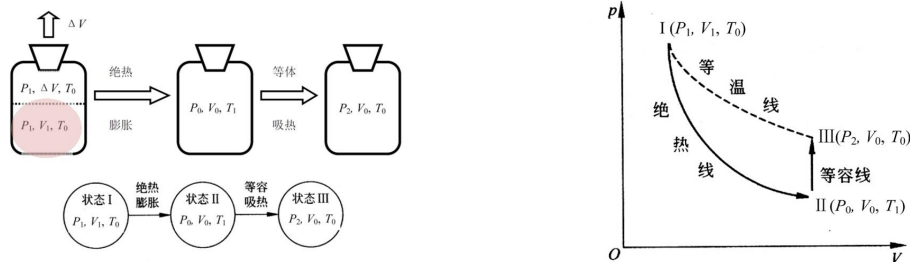


图 2: 气体状态变化及 $P-V$ 图

由状态 I→II→III 的过程如图 2 所示。I→II 是绝热过程,由绝热过程方程得:

$$P_1 V_1^\gamma = P_0 V_0^\gamma \quad (1)$$

状态 I 和状态 III 的温度均为 T_0 ,由气体状态方程得:

$$P_1 V_1 = P_2 V_0 \quad (2)$$

合并式 (1)(2),消去 V_0, V_1 ,得:

$$\gamma = \frac{\ln P_1 - \ln P_0}{\ln P_1 - \ln P_2} = \frac{\ln \frac{P_1}{P_0}}{\ln \frac{P_1}{P_2}} \quad (3)$$

由式 (3) 可以看出,只要测得 P_0, P_1, P_2 就可求得空气的绝热指数 γ 。本实验气瓶内的气压通过扩散硅传感器来测量,压强值通过电压值来显示,其灵敏度为 20 mV/kPa 。当待测压强为大气压 P_0 时将电压示数调零,当压强显示读数为 $P \text{ mV}$ 时,实际压强为:

$$P(Pa) = P_0 + 50 \times P(\text{mV}) \quad (4)$$

气瓶内温度通过 AD590 温度传感器测量,也是以电压值来显示,其灵敏度为 $5 \text{ mV}/^\circ\text{C}$,最小可检测 0.02°C 的温度变化。

四、实验内容

1. 用气压计测定大气压强 $P_0(Pa)$,用温度计测环境室温 $T_0(^{\circ}\text{C})$ 。打开放气阀 C_1 ,开启电源,让电子仪器部件预热一段时间,然后将压强指示值调到“0”,并记录此时温度指示值 T_0 (以 mV 为单位)。
2. 关闭放气阀 C_1 ,打开充气阀 C_2 ,用充气球向瓶内打气,使压强升高到 $100 \text{ mV} - 120 \text{ mV}$ 。然后关闭充气阀 C_2 ,当瓶内气体压强和温度的指示值不变时,气体处于状态 I,记下压强 P_1 和温度 T_1 (以 mV 为单位)。
3. 迅速打开放气阀 C_1 ,当放气声消失时立刻关闭放气阀 C_1 ,此时瓶内空气压强降至大气压强 P_0 ,气体温度降低,气体处于状态 II。
4. 待瓶内气体的温度上升稳定,且压强也稳定后,此时瓶内气体近处于状态 III,记录压强 P_2 和温度 T_2 。
5. 打开放气阀 C_1 使贮气瓶与大气相通,以便于下一次测量。
6. 重复步骤 2 - 4,重复 10 次测量,比较多次测量中气体的状态变化有何异同,并计算 $\bar{\gamma}$,分析误差,利用统计规律公式 $\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$,计算实验结果的随机涨落偏差。
7. 放气时间过长,重复步骤 2 - 4,重复 5 次测量,计算 $\bar{\gamma}_1$ 。
8. 放气时间不充分,重复步骤 2 - 4,重复 5 次测量,计算 $\bar{\gamma}_2$ 。
9. 比较三种情况的测量平均值,与理论值 1.40 比较,计算与理论值对比的相对误差 $E_r = \frac{\bar{\gamma}_i - 1.40}{1.40} \times 100\%$,并分析偏离原因。

五、数据记录

原始数据见附页。

六、数据处理

实验开始时 $P_{0_1} = 99880 \text{ Pa}$, 实验结束时 $P_{0_2} = 99850 \text{ Pa}$, 计算平均值得到 $P_0 = \frac{P_{0_1} + P_{0_2}}{2} = \frac{99880 \text{ Pa} + 99850 \text{ Pa}}{2} = 99865 \text{ Pa}$ 。通过使用 **Origin** 软件对实验数据进行处理计算 P_1, P_2, γ , 得到:

长名称	P1/mV	P2/mV	P1/Pa	P2/Pa	gamma
单位	mV	mV	Pa	Pa	
注释					
F(x)=			99865+A*50	99865+B*50	$\ln(C/99865)/\ln(C/D)$
1	123	30.4	106015	101385	1.33828
2	122	29.4	105965	101335	1.32707
3	126.1	30.9	106170	101410	1.3347
4	124	30.4	106065	101385	1.33474
5	122.2	30.1	105975	101370	1.33669
6	121.7	29.9	105950	101360	1.33551
7	121	29.6	105915	101345	1.33354
8	120.2	28.9	105875	101310	1.32595
9	122.3	29.6	105980	101345	1.32896
10	119.1	28.9	105820	101310	1.32984
11	120.1	13	105870	100515	1.12499
12	120.8	15.6	105905	100645	1.15272
13	121.3	11	105930	100415	1.10272
14	117.1	12.8	105720	100505	1.12628
15	121.1	13.6	105920	100545	1.1303
16	117.8	65.3	105755	103130	2.27994
17	119.5	67.6	105840	103245	2.34088
18	123.4	55.9	106035	102660	1.85336
19	122.8	54.5	106005	102590	1.82213
20	120.8	51.8	105905	102455	1.77311

图 3: 实验数据处理结果

计算正常测量的空气比热容比的平均值

$$\bar{\gamma} = \frac{1.33828 + 1.32707 + 1.33470 + 1.33474 + 1.33669 + 1.33551 + 1.33354 + 1.32595 + 1.32896 + 1.32984}{10}$$

= 1.33253 略小于理论值1.40

计算实验结果的随机涨落偏差

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

$$= \sqrt{\frac{(1.33828 - 1.33253)^2 + (1.32707 - 1.33253)^2 + (1.33470 - 1.33253)^2 + (1.33474 - 1.33253)^2 + (1.33669 - 1.33253)^2 + (1.33551 - 1.33253)^2 + (1.33354 - 1.33253)^2 + (1.32595 - 1.33253)^2 + (1.32896 - 1.33253)^2 + (1.32984 - 1.33253)^2}{10-1}}$$

= 0.004254

计算放气时间过长的空气比热容比的平均值

$$\bar{\gamma}_1 = \frac{1.12499 + 1.15272 + 1.10272 + 1.12628 + 1.13030}{5}$$

= 1.12741 远小于理论值1.40

计算放气时间不充分的空气比热容比的平均值

$$\bar{\gamma}_2 = \frac{2.27994 + 2.34088 + 1.85336 + 1.82213 + 1.77311}{5}$$

= 2.01388 远大于理论值1.40

计算与理论值对比的相对误差

$$\begin{aligned}\text{正常操作: } E_r &= \frac{|\bar{\gamma} - 1.40|}{1.40} \times 100\% \\ &= \frac{|1.33253 - 1.40|}{1.40} \times 100\% = 4.82\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{放气过久: } E_{r1} &= \frac{|\bar{\gamma}_1 - 1.40|}{1.40} \times 100\% \\ &= \frac{|1.12741 - 1.40|}{1.40} \times 100\% = 19.47\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{放气不充分: } E_{r2} &= \frac{|\bar{\gamma}_2 - 1.40|}{1.40} \times 100\% \\ &= \frac{|2.01388 - 1.40|}{1.40} \times 100\% = 43.85\%\end{aligned}$$

正常操作时, 气体与外界存在热交换, 使测量得到的 P_2 偏小, 导致计算得到的 γ 偏小。放气时间过长, 气体有充足的时间与外界热交换, 导致测量得到的 P_2 偏小, 计算得到的 γ 偏小。放气时间不充分, 内外气压未达到平衡, 导致测量得到的 P_2 偏大, 计算得到的 γ 偏大。

七、误差分析

1. 温度传感器和压力传感器的灵敏度有限, 可能导致测量误差;
2. 无法精准控制放气时间, 放气时间过长或过短都会影响实验结果;
3. 装置无法完全绝热, 气体在放气以及等待平衡过程中与外界有热交换, 影响了实验结果;
4. 实验室的空调影响环境温度, 导致实验室温度不稳定;
5. 实验前后的气压与温度有变化, 可能导致实验结果不准确;
6. 平衡过程时间较长, 可能提前读取结果导致结果不准确;
7. 气体不是理想气体, 实际气体的行为与理想气体有所不同, 可能导致实验结果偏差。

八、思考题

1. 为什么在实验中不需要测量状态 II 的压强和温度值? 请简述理由。答:

状态 II 是绝热膨胀的中间态, 不稳定, 难以测量; 并且由公式 (3) 可知, 状态 II 的压强和温度在计算 γ 时不需要, 因此不需要测量。

2. 在放气瞬间, 瓶内气体温度有无变化? 试通过热力学定律分析原因。答:

有变化。根据热力学第一定律 $\Delta U = Q + W$, 绝热膨胀过程中, 内能的变化等于做功的量, 在放气瞬间, 气体体积膨胀, 对外做功, 所以内能减少, 即温度降低。

九、实验结论

本实验采用绝热膨胀法, 测定空气的比热容比。在三种情况下分别测得正常操作时的比热容比 $\bar{\gamma} = 1.33253$, 放气时间过长时的比热容比 $\bar{\gamma}_1 = 1.12741$, 放气时间不充分时的比热容比 $\bar{\gamma}_2 = 2.01388$ 。与理论值 1.40 相比, 正常操作时的相对误差为 4.82%, 放气时间过长时的相对误差为 19.47%, 放气时间不充分时的相对误差为 43.85%。实验结果表明, 放气时间过长或不充分偏差较大, 正常操作与理论值误差较小, 实验结果的随机涨落偏差为 0.004254, 测量结果合理。