

# 空气比热容比的测定

(教材:大学物理实验, 第一册第五章 5.2.2; 大学物理基础与综合性实验, 第五章 5.3)

## 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:  $PV^\gamma$  等于恒量, 其中  $\gamma$  是气体的定压比热容  $C_P$  和定容比热容  $C_V$  之比, 通常称  $\gamma = C_P / C_V$  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。

(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 ( $P_1, V_1, T_0$ )。虽然瓶为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。

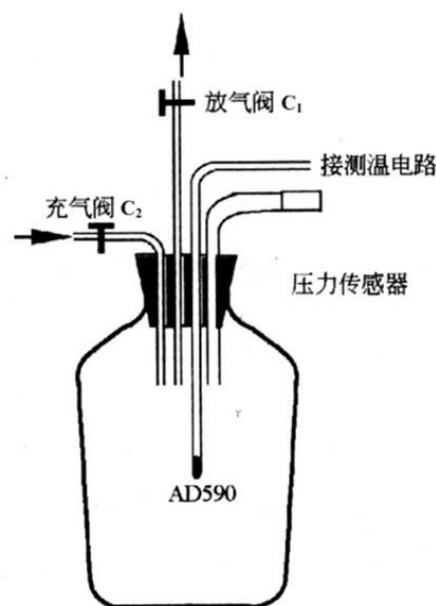


图 1 实验装置图

(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  $\Delta V$  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。

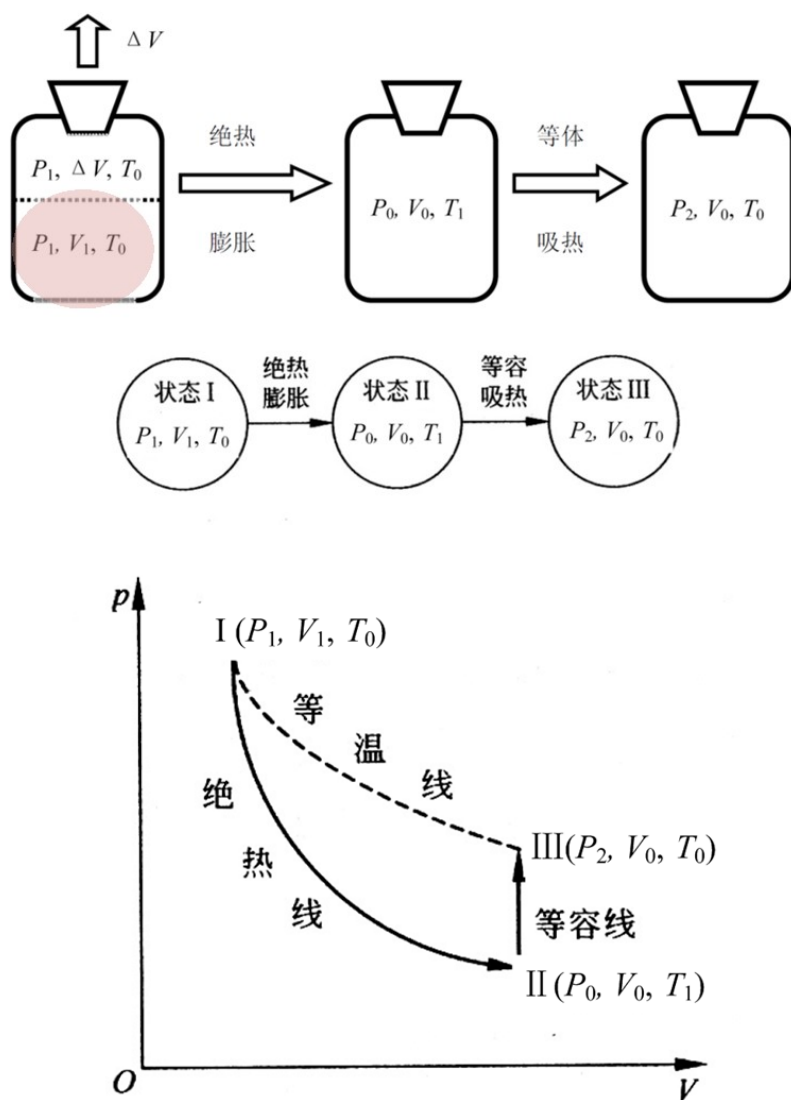


图 2 气体状态变化及 PV 图

由状态 I  $\rightarrow$  II  $\rightarrow$  III 的过程如图 2 所示。I  $\rightarrow$  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

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

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 $\gamma$ 。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 20mV/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  $P$  mV 时，实际压强为：

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

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 5mV/°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  $T_0$  (°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 100mV ~ 120mV。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  $E_r = \frac{\bar{V}_t - 1.40}{1.40} \times 100\%$ ，并分析偏离原因。

## 注意事项

1. 转动充气阀和放气阀的活塞时，一定要一手扶住活塞，另一只手转动活塞，避免损坏活塞。
2. 实验前应检查系统是否漏气，方法是关闭放气阀，打开充气阀用充气球向瓶内打气，使瓶内压强升高 1000Pa~2000Pa 左右（对应电压值为 20~40mV），关闭充气阀 B 观察压强是否稳定，若始终下降则说明系统有漏气之处，须找出原因。
3. 做好本实验的关键是放气要进行的十分迅速。即打开放气阀后又关上放气阀的动作要快捷，使瓶内气体与大气相通要充分且尽量快完成。

## 思考题

1. 写出等精度测量实验的定义。这个实验是等精度测量吗？请简述理由。
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。

表 1 空气比热容比测试数据

实验开始

大气压强  $P_0 = \underline{\hspace{2cm}}$  Pa      室温  $T_0 = \underline{\hspace{2cm}}$  °C      气温  $T_0 = \underline{\hspace{2cm}}$  mV

实验结束

大气压强  $P_0 = \underline{\hspace{2cm}}$  Pa      室温  $T_0 = \underline{\hspace{2cm}}$  °C      气温  $T_0 = \underline{\hspace{2cm}}$  mV

开始和结束的大气压强值求平均值后，代入公式计算  $P_1/\text{Pa}$ ， $P_2/\text{Pa}$

|     | 状态 I            |                 | 状态 III          |                 | 状态 I            | 状态 III          | $\gamma$ |
|-----|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------|
|     | $P_1/\text{mV}$ | $T_1/\text{mV}$ | $P_2/\text{mV}$ | $T_2/\text{mV}$ | $P_1/\text{Pa}$ | $P_2/\text{Pa}$ |          |
| 1   |                 |                 |                 |                 |                 |                 |          |
| 2   |                 |                 |                 |                 |                 |                 |          |
| 3   |                 |                 |                 |                 |                 |                 |          |
| 4   |                 |                 |                 |                 |                 |                 |          |
| 5   |                 |                 |                 |                 |                 |                 |          |
| ... |                 |                 |                 |                 |                 |                 |          |

# 报告要求

## 实验名称

### 空气比热容比的测定

## 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。

## 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)

## 实验原理

阅读实验讲义，重点弄清以下问题。

1. 空气比热容比的定义
2. 简述实验中的绝热膨胀、等容吸热的状态变化过程。画出状态变化曲线。
3. 写出空气比热容比的计算推导过程
4. 写出双原子分子比热容比的理论值

## 实验内容

阅读实验讲义，简要概括。

## 数据记录

实验开始

大气压强  $P_0$ =\_\_\_\_\_Pa      室温  $T_0$ =\_\_\_\_\_°C      气温  $T_0$ =\_\_\_\_\_mV

实验结束

大气压强  $P_0$ =\_\_\_\_\_Pa      室温  $T_0$ =\_\_\_\_\_°C      气温  $T_0$ =\_\_\_\_\_mV

开始和结束的大气压强值求平均值后，代入公式计算  $P_1$ /Pa,  $P_2$ /Pa

数据记录表格：

|     | 状态 I            |                 | 状态 III          |                 | 状态 I            | 状态 III          | $\gamma$ |
|-----|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------|
|     | $P_1/\text{mV}$ | $T_1/\text{mV}$ | $P_2/\text{mV}$ | $T_2/\text{mV}$ | $P_1/\text{Pa}$ | $P_2/\text{Pa}$ |          |
| 1   |                 |                 |                 |                 |                 |                 |          |
| 2   |                 |                 |                 |                 |                 |                 |          |
| 3   |                 |                 |                 |                 |                 |                 |          |
| 4   |                 |                 |                 |                 |                 |                 |          |
| 5   |                 |                 |                 |                 |                 |                 |          |
| ... |                 |                 |                 |                 |                 |                 |          |

以下内容均为课后完成部分

## 数据处理

1. 计算空气比热容比值 (部分可在实验室进行)
2. 计算 10 次正常测量的空气比热容比的平均值  $\bar{\gamma}$ ，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。
3. 放气时间过长，重复 5 次测量，计算  $\bar{\gamma}_1$ 。
4. 放气时间不充分，重复 5 次测量，计算  $\bar{\gamma}_2$ 。
5. 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  $E_r = \frac{\bar{\gamma}_i - 1.40}{1.40} \times 100\%$ ，并根据理论定性分析偏离原因。

## 误差分析

定性误差分析即可。

## 实验结论

简要陈述实验方法及结果，评估实验结果与理论值的差距，分析实验结果是否合理。

## 思考题

回答讲义中的思考题。