

《大学基础物理实验》课程实验报告

姓名: 柯云超 学号: 2413575

学院: 计算机学院 时间: 2025 年 3 月 18 日 组别: L 组 11 号

测定空气比热容比

[实验目的]

- 学习测定空气比定压热容与比定容热容之比的一种方法。
- 观察热学过程中状态变化及基本物理规律。
- 学习用传感器精确测定气体压强和温度的原理与方法。

[实验原理]

物质的比热容分为压力恒定时的比定压比热容 c_p , 体积一定时的比定容比热容 c_V , 由于本实验实际过程中所设计的温度返回不大, 二者近似为常量。对于气体而言, 因膨胀而对外界做的功就不能忽略不计, 故 c_p 与 c_V 必须严格区别。

理想气体存在方程: $c_p - c_V = R/M$, 由此引出一个重要的物理量 γ :

$$\gamma = \frac{c_p}{c_V} = 1 + \frac{R}{Mc_V}$$

其中 R 为气体普适常量, M 表示气体的摩尔质量, γ 称为气体的主比热容之比。

预测量 γ 值, 需要三个状态。状态 I:

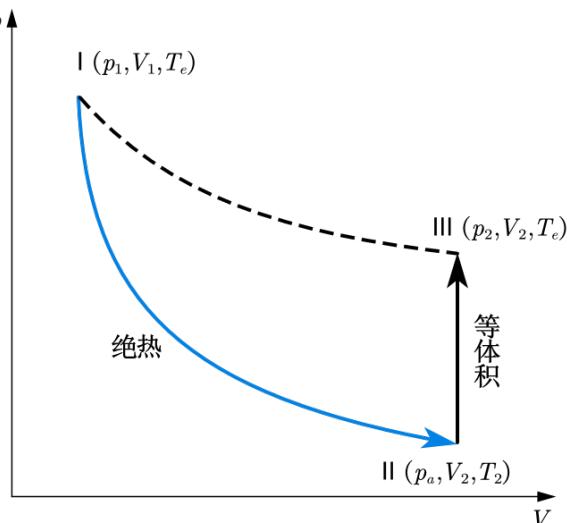
以比大气压 p_a 稍高的压力 p_1 , 向玻璃容器压入适量气体, 并以与外部温度 T_e 相等之时单位质量的气体体积作为 V_1 。状态 II: 急速打开放气活塞, 使压强降至大气压 p_a , 由于是绝热膨胀, $T_2 < T_e$ 。状态 III: 关闭活塞后若再放置一段时间, 系统将从外界吸收热量, 且温度重新升高至 T_e , 由于体积不变, 压力随之增加为 p_2 。

状态 I → II 的变化是绝热的, 故满足泊松公式

$$p_1 V_1^\gamma = p_a V_2^\gamma$$

而状态 III 与 I 是等温的, 故玻意耳定律成立

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$



由前两个式子消去 V_1, V_2 , 并求解得。

$$\gamma = \frac{\ln p_1 - \ln p_a}{\ln p_2 - \ln p_a} = \frac{\ln(p_1/p_a)}{\ln(p_2/p_a)} \quad (1)$$

若以 p'_1 和 p'_2 分别表示 p_1 与 p_a 及 p_2 与 p_a 的压力差, 则有

$$\left. \begin{array}{l} p_1 = p_a + p'_1 \\ p_2 = p_a + p'_2 \end{array} \right\}$$

将此式带入到 (1) 式, 注意到 $p_a \gg p'_1 > p'_2$

$$\ln p_1 - \ln p_a = \ln \frac{p_1}{p_a} = \ln \left(1 + \frac{p'_1}{p_a} \right) \approx \frac{p'_1}{p_a}$$

以及

$$\ln p_2 - \ln p_a = (\ln p_1 - \ln p_a) - (\ln p_2 - \ln p_a) \approx \frac{p'_1}{p_a} - \frac{p'_2}{p_a}$$

故

$$\gamma = \frac{p'_1}{p'_1 - p'_2} \quad (2)$$

故只需测得 p'_1 以及 p'_2 , 即可通过 (2) 式求出空气的比热容比。

[实验仪器装置及说明]

FD-NCD- 空气比热容比测定制仪, 由机箱 (含数字电压表二只)、储气瓶、传感器两只 (电流型集成温度传感器 AD590 和扩散硅压力传感器各一只) 等组成。

说明:

1. 旋转活塞时应慢, 防止活塞被折断。并且应在平面内旋转, 不应移动活塞。
2. 压入气体时若太多, 则仪器不密封造成的误差会增大, 若太少, 则实验效果不明显, 以使电压表示数为 $120mV$ 最佳。
3. 打开放气活塞待声音消失后应当立刻关上活塞, 否则实验结果偏小。

[实验内容及步骤]

内容: 通过传感器将压强转化为电压测定空气比热容比.

- 步骤:**
1. 开启玻璃瓶的两个活塞并开启电子仪器的电源, 使用调零旋钮将测定气压的表示数调整为 $0mV$, 预热 20 分钟。
 2. 关闭出气活塞, 使用橡皮球往玻璃瓶中压入大约 $120mV$ 气体后, 关闭进气活塞, 等待直到电压表示数稳定, 记录此时电压表的示数为 p'_1 , 温度表的示数为 T_1 。
 3. 打开出气活塞, 待放气声音停止后立即关闭, 等待直到电压表的示数稳定, 记录电压表示数为 p'_2 , 温度表示数为 T_2 。
 4. 重新打开两个活塞, 重复步骤 1 和 2.

[原始数据]

原始数据如下, γ 的有效位数取 4 位

p1'/mV	T1/mV	p2'/mV	T2/mV	(p1'-p2')/mV	gamma
122.4	1442.8	28.4	1442.2	94.0	1.302
133.2	1443.5	31.7	1443.0	101.5	1.312
125.4	1444.1	29.9	1443.9	95.5	1.313
133.5	1444.9	31.1	1444.4	102.4	1.304
129.2	1445.5	31.5	1445.0	97.7	1.322
122.0	1445.6	28.8	1445.0	93.2	1.309
131.2	1445.8	32.0	1445.1	99.2	1.323
120.0	1445.9	29.7	1445.3	90.3	1.329
128.9	1446.2	36.7	1445.2	92.2	1.398
123.9	1446.6	35.5	1445.1	88.4	1.402

图 2: 数据

[数据处理与分析]

计算得 $\bar{\gamma} = 1.331$.

相对误差

$$E = \left| \frac{\bar{\gamma} - 1.402}{1.402} \right| \times 100\% = 5\%$$

数据标准差

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\gamma_i - \bar{\gamma})^2} = 0.035$$

γ 的 A 类不确定度:

$$\begin{aligned} \mu_\gamma &= t_{(p,s)} S_\gamma \\ &= 1.06 \times \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (\gamma_i - \bar{\gamma})^2} \\ &= 0.012 \end{aligned}$$

γ 的测量结果为:

$$\gamma = 1.331 \pm 0.016$$

分析: γ 偏小可能的原因有 p'_1 偏大, 或者 p'_2 偏小, 由于打入的气体不均匀, 仪器测量的下半部分压强比较大, 若读取的时间间隔太小, p'_1 的值会偏大; 由于释放完气体需要等待一段时间气体吸热压强增大, 故读取时间过快的话, p'_2 会偏小。还可能的原因是公式推导是基于理想气体的, 实验室环境下不一定严格成立。

[课后思考题]

2.

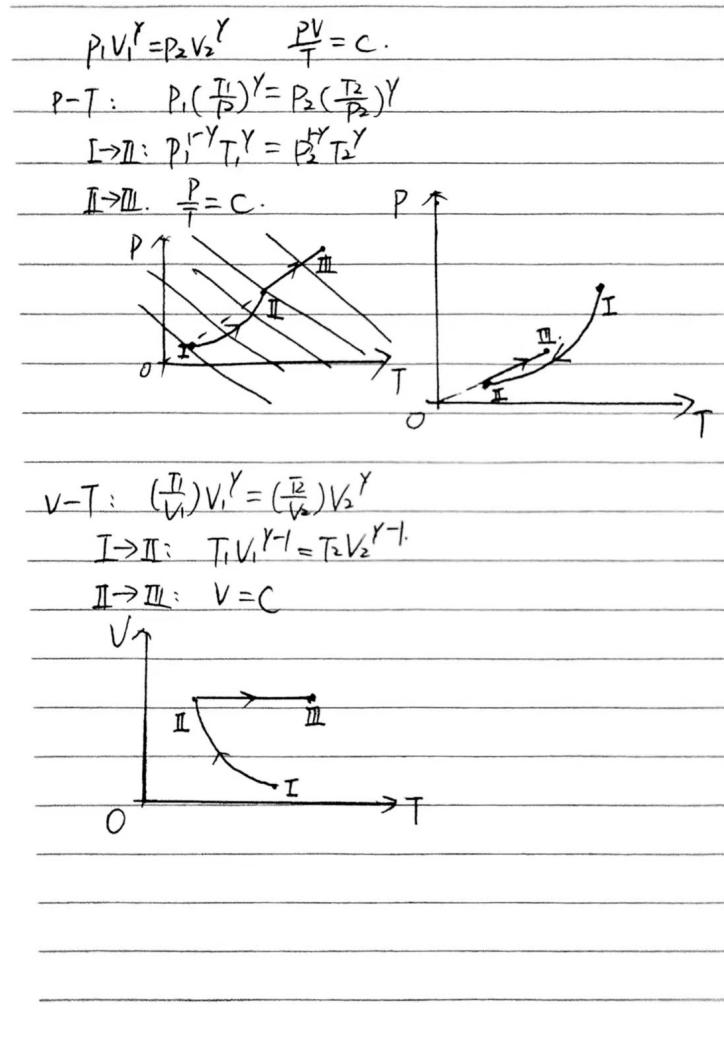


图 3: 思考题 2

3.

考察的是绝热膨胀前的所有气体以及容器。

因为膨胀时间短，近似的认为是绝热的。根据理想气体状态方程，可以分别采用 $\frac{T_e}{p_a}$ 和 $\frac{T_2}{p_1}$ 来反映 V_1, V_2 的大小关系。在后一种假设下 $V_2 = V$ ，则 $V_1 = \frac{T_e p_1}{T_2 p_a} V_2$ 。