

气体比热容比的测定

气体的比热容比又称为气体的绝热系数，在热力学过程特别是绝热过程中是一个重要的物理参量。在研究物质结构、确定相变、鉴定物质纯度等方面起着重要的作用。本实验将介绍一种转换测量方法，通过测量物体在特定容器中的振动周期来测定气体的比热容比。

【实验目的】

1. 学习测定气体比热容比的方法
2. 观察热力学过程中状态变化及基本物理规律

【实验原理】

气体的定压比热容 C_p 与定容比热容 C_v 之比 $\gamma = C_p / C_v$ 。实验装置如图 1 所示，振动物体小球 D 的直径比玻璃谐振腔 E 直径仅小 0.01 ~ 0.02mm。它能在如此精密的玻璃谐振腔 E 中上下移动，在储气瓶 A 的壁上有一充气孔 B，并插入一根细管，通过它各种气体可以注入到储气瓶 A 中。

钢球 D 的质量为 m ，半径为 r （直径为 d ），当瓶子内压力 P 满足下面条件时，钢球 D 处于力平衡状态，

这时 $P = P_L + \frac{m \cdot g}{\pi \cdot r^2}$ ，式中 P_L 为大气压强。为了补偿

由于空气阻尼引起振动物体 D 振幅的衰减，通过 B 管不断注入一个小气压的气流，在精密玻璃谐振腔 E 的中央开设有一个小孔 C。当振动物体 A 处于小孔下方的半个振动周期时，注入气体使储气瓶 A 内压力增大，引起物体 D 向上移动，而当物体 D 处于小孔上方的半个振动周期时，容器内的气体将通过小孔流出，使储气瓶 A 内压力减小从而使物体 D 下沉。以后重复上述过程，只要适当控制注入气体的流量，物体 D 能在玻璃谐振腔 E 的小孔 C 上下作简谐振动，振动周期可利用光电计时装置来测得。

若物体偏离平衡位置一个较小距离 dx ，则容器内的压力变化 dp ，物体的运动方程为：

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = \pi r^2 dp \quad (1)$$

因为物体振动过程相当快，所以可以看作绝热过程，绝热方程：

$$PV^\gamma = \text{常数} \quad (2)$$

将 (2) 式求导数得出：

$$dp = -\frac{p\gamma dV}{V}, \quad dV = \pi r^2 dx \quad (3)$$

将 (3) 式代入 (1) 式得：

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{\pi^2 r^4 p \gamma}{mV} dx = 0$$

此式即为熟知的简谐振动方程，它的解为：

$$\omega = \sqrt{\frac{\pi^2 r^4 p \gamma}{mV}} = \frac{2\pi}{T}$$

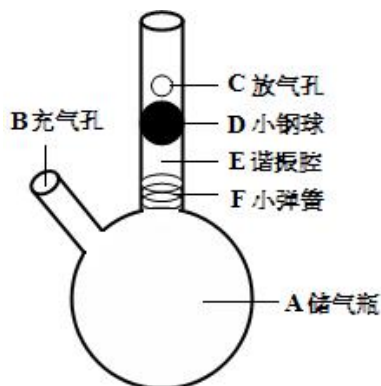


图1 实验装置示意图

$$\gamma = \frac{4mV}{T^2 pr^4} = \frac{64mV}{T^2 pd^4} \quad (4)$$

式中各量均可方便测得，因而可算出 γ 值。由气体运动论可以知道， γ 值与气体分子的自由度有关，对单原子气体（如氩气）只有三个平均自由度，双原子气体（如氢气）除上述3个平均自由度外还有2个转动自由度。对多原子气体，则具有3个转动自由度，比热容比 γ 与自由度 f 的关系为 $\gamma = \frac{f+2}{f}$ 。根据理论公式可以得到下面的结论，该数据与测试环境温度无关。

单原子气体（Ar，He）	$f = 3$	$\gamma = 1.67$
双原子气体（N ₂ ，H ₂ ，O ₂ ）	$f = 5$	$\gamma = 1.40$
多原子气体（CO ₂ ，CH ₄ ）	$f = 6$	$\gamma = 1.33$

本实验振动周期采用可预置测量次数的数字计时仪，采用重复多次测量。振动物体直径采用螺旋测微计测出，质量用物理天平称量。

【实验仪器】

数字毫秒计，光电门，支撑架，精密玻璃容器（烧瓶，玻璃管），气泵，螺旋测微计，电子天平

【实验注意事项】

- 1.实验装置主要由玻璃制成，而且对玻璃管的准直性要求特别高。
- 2.玻璃管内壁有灰尘微粒都可能引起不锈钢球不能正常振动，因此振动物体（不锈钢球）表面不允许擦伤，管内必须保持洁净。
- 3.不锈钢球静止时停留在玻璃管的下方（用弹簧托住）。若要将其取出，只需在它振动时，用手指将玻璃管壁上的小孔堵住，稍稍加大气体流量不锈钢球便会上浮到管子上方开口处，用手可以方便地取出。

【实验步骤与内容】

- （1）接通电源，缓慢调节空压机上的调节旋钮，使钢球在玻璃管中以小孔为中心上下振动，即维持简谐振动状态。
- （2）振动周期的测量：接通数字毫秒仪预置测量次数为50次（N次）即小球来回经过光电门的次数为 $N=2n+1$ 次。信号灯不停闪烁，即为计时状态，当物体经过光电门的周期次数达到设定值，数字毫秒计将显示具体时间，单位“秒”。重复以上步骤测量6次。
- （3）用螺旋测微器和物理天平分别测出钢珠的直径 d 和质量 m ，重复测量6次。

【数据与结果】

1. 求钢珠质量、直径、周期及其不确定度：

表 1

次数 项目	1	2	3	4	5	6
质量 m ($\times 10^{-3} \text{ kg}$)						
直径 d ($\times 10^{-3} \text{ m}$)						
周期 T (s)						

2. 结果: $m = \bar{m} \pm \Delta_m$

$$d = \bar{d} \pm \Delta_d \text{ (mm)}$$

$$T = \bar{T} \pm \Delta_T \text{ (S)}$$

$$\gamma = \bar{\gamma} \pm \Delta\gamma$$

$$\frac{\Delta\gamma}{\bar{\gamma}} = \sqrt{\left(\frac{\Delta_m}{\bar{m}}\right)^2 + 4\left(\frac{\Delta_T}{\bar{T}}\right)^2 + 16\left(\frac{\Delta_d}{\bar{d}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_V}{\bar{V}}\right)^2} \times 100\%$$

【思考题】

1. 注入气体流量的多少对小球的运动情况有没有影响?
2. 在实际问题中, 物体振动过程并不是十分理想的绝热过程, 这时测得的值比实际值大还是小? 为什么?