

# 浙 江 大 学

## 物 理 实 验 报 告

实验名称：空气密度测量

指导教师：                                

信 箱 号：                                

专      业：                                

班      级：                                

姓      名：                                

学      号：                                

实验日期：    月    日 星期①下午

【实验目的】

1. 掌握低真空的获得和检测方法
2. 掌握分析天平、福廷式气压计的正确使用方法
3. 学会测量空气的密度

【实验原理】 (电学、光学画出原理图)

对于理想气体:  $pV = \frac{m}{M}RT$  空气福廷式水银气压计对气压示主要是  $O_2$  与  $N_2$  的混合物, 两者占值  $p$  进行修正:

比约为 1:4  $M_{O_2} = 32 \times 10^{-3} \text{ kg}$ ,  
 $M_{N_2} = 28 \times 10^{-3} \text{ kg}$ , 则空气的  $M_A$  为  
 $28.98 \times 10^{-3} \text{ kg}$ , 利用精密天平分别  
 测出充满空气的玻璃泡的质量  
 $m_1$  及抽真空后玻璃泡的质量  $m_0$ ,  
 容器的容积  $V$  由实验室给出, 则  
 在压强为  $p$  温度为  $T$  下空气密度为

$$\rho = \frac{m_1 - m_0}{V} = \frac{m}{V}$$

还需将  $p$  换算为干燥空气在  $p_0, T_0$   
 下的空气密度, 利用下式:

$$\rho_{0T} = \rho \frac{p_0}{p} (1 + \alpha t) (1 + \frac{3}{8} \frac{p_0}{p})$$

其中  $\alpha$  为空气的压强系数  $\frac{1}{273.15} ^\circ\text{C}^{-1}$   
 $p_w$  为空气中所含水蒸气的分压强  
 $p_w = \text{相对湿度} \times p_{w0}$ ,  $p_{w0}$  为该温  
 度下饱和水汽压强, 由上式三式  
 可得普适气体常量为

$$R = \frac{p_0 M_A}{T_0 \rho_{0T}}$$

(1) 温度的修正  
 气压的正确示值为:

$$p = \frac{p'}{1 + (\gamma - \beta)t} = p' [1 - (\gamma - \beta)t]$$

$$= p' (1 - 0.000163 t / ^\circ\text{C})$$

其中  $\gamma = 1.82 \times 10^{-4} ^\circ\text{C}^{-1}$

$\beta = 1.9 \times 10^{-5} ^\circ\text{C}^{-1}$

(2) 重力加速度的修正

$$p = p' \frac{g}{g_0} (1 - 0.000163 t / ^\circ\text{C})$$

其中  $g$  为当地的重力加速度

$$g_0 = 980.665 \text{ cm/s}^2$$

【实验内容】（重点说明）

1. 玻璃泡抽气  
将待抽玻璃球泡装在  $k_1 \sim k_3$  的任一口上并打开活塞，其他活塞关闭，启动机械泵对系统抽气，观察真空表示值，当指针稳定，系统已达到一定的真空度时立即关闭玻璃泡活塞，在切断电源前，为防止泵油倒灌需缓慢打开放气阀  $k_4$ ，慢慢放气，使抽气管系统与大气相通，再立即关闭机械真空泵，最后拔出玻璃泡。

2. 计算普适气体常数。

利用复称法在电子天平和光电分析天平上分别称出抽真空后的玻璃泡质量  $m_0$ ，和充满空气的玻璃泡质量  $m_1$ 。

利用公式

$$R = \frac{p_0 M A}{T_0 p_{\text{气}}}$$

计算  $R$  值，并求出相对误差，再作

【实验器材及注意事项】

1. 低真空系统  
用于获得低真空空间的装置
2. 光电分析天平  
一种精密称衡质量的仪器。
3. 福延式水银气压计  
一种常用的大气压力计

调水平等。

3. 气压计测得的气压值  $p'$  需进行修正。

注意事项：

1. 使用完真空泵，注意先缓慢放气再拔出玻璃泡
2. 使用光电分析天平前应学习使用方法，注意保护刀口，调零



## 【数据处理与结果】

$$V = 165.224 \text{ cm}^3$$

$$t = 16.5^\circ\text{C}$$

$$U_t = \frac{\Delta t}{\sqrt{3}} = 0.1^\circ\text{C}$$

$$t = (16.5 \pm 0.1)^\circ\text{C}$$

$$\text{相对湿度 } 69.1\%$$

$$U_{\text{相对湿度}} = \frac{\Delta(\text{相对湿度})}{\sqrt{3}} = 0.1\%$$

$$\text{相对湿度 } (69.1\% \pm 0.1\%)$$

$$p' = 1025.5 \text{ hPa}$$

1. 修正  $p'$ 

$$p = p' \frac{g}{g_0} (1 - 0.000163 t / ^\circ\text{C})$$

$$(g = 9.783 \text{ m/s}^2, g_0 = 980.665 \text{ cm/s}^2)$$

$$p = 1020.28 \text{ Pa}$$

2. 测量  $m_1, m_0$ 

实验次数	1	2	3	4	5	6
$m_1/g$	88.2880	88.2875	88.2876	88.2873	88.2877	88.2876
$m_0/g$	88.0855	88.0854	88.0855	88.0856	88.0854	88.0854

$$\bar{m}_1 = 88.28762 \text{ g}$$

$$U_{Am_1} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (m_{1i} - \bar{m}_1)^2}{6 \times 5}} = 0.00009 \text{ g}$$

$$U_{Bm_1} = \frac{\Delta t}{\sqrt{3}} = 0.00003 \text{ g}$$

$$U_{m_1} = \sqrt{U_{Am_1}^2 + U_{Bm_1}^2} = 0.00009 \text{ g}$$

$$m_1 = (88.28762 \pm 0.00009) \text{ g}$$

$$\bar{m}_0 = 88.08547 \text{ g}$$

$$U_{Am_0} = 0.00003 \text{ g}$$

$$U_{Bm_0} = 0.00003 \text{ g}$$

$$U_{m_0} = 0.00004 \text{ g}$$

$$m_0 = (88.08547 \pm 0.00004) \text{ g}$$

## 3. 计算空气密度

$$\bar{p} = \frac{\bar{m}_1 - \bar{m}_0}{V} = 1.22 \text{ kg/m}^3$$

$$U_p = \bar{p} \sqrt{\left(\frac{U_{m_1}}{\bar{m}_1 - \bar{m}_0}\right)^2 + \left(\frac{U_{m_0}}{\bar{m}_1 - \bar{m}_0}\right)^2} = 0.25 \text{ kg/m}^3$$

$$p_{w0} = 1876.71 \text{ Pa}$$

$$p_w = \text{相对湿度} \times p_{w0} = 1296.81 \text{ Pa}$$

$$p_{\text{air}} = \bar{p} - \frac{p_w}{p} (1 + \alpha t) (1 + \frac{3}{2} \frac{p_w}{p})$$

$$(p_0 = 101325 \text{ Pa}) (\alpha = \frac{1}{273.15} ^\circ\text{C}^{-1})$$

$$p_{\text{air}} = 1.29 \text{ kg/m}^3$$

$$U_{p_{\text{air}}} = \sqrt{\left(\frac{U_p}{p}\right)^2 + \left(\frac{g}{1 + \alpha t}\right)^2 U_t^2} p_{\text{air}} = 0.26 \text{ kg/m}^3$$

$$p_{\text{air}} = (1.29 \pm 0.26) \text{ kg/m}^3$$

## 4. 计算普适气体常量

$$\bar{R} = \frac{p_0 N_A}{T_0 p_{\text{air}}}$$

$$(N_A = 28.98 \times 10^{-3} \text{ kg}, T_0 = 273.15 \text{ K})$$

$$\bar{R} = 8.31 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)} \cdot 1.7$$

$$U_R = \bar{R} \sqrt{\left(\frac{U_{p_{\text{air}}}}{p_{\text{air}}}\right)^2} = 1.7 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}$$

$$R = (8.3 \pm 1.7) \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}$$

$$\text{相对误差 } \frac{|R - R_0|}{R_0} = 0.17\%$$

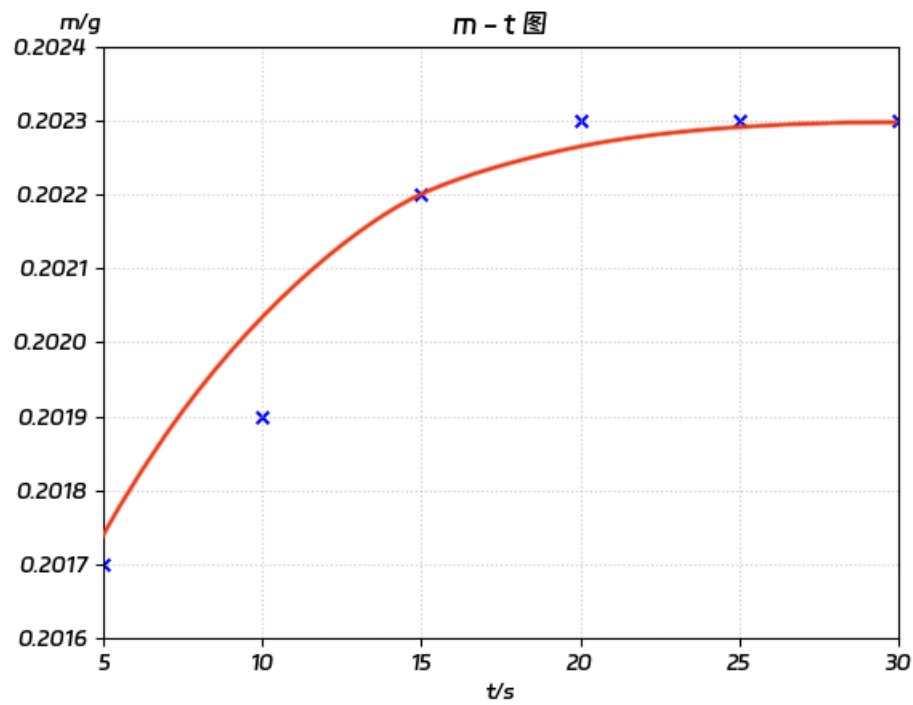
$$(R_0 = 8.31444 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)})$$

5. 抽去空气质量与时间的关系。  
(见附表)

5 抽去空气质量与时间的关系

$m_1 = 88.2876\text{ g}$

抽真空时间/s	5	10	15	20	25	30
m0/g	88.0859	88.0857	88.0854	88.0854	88.0856	88.0855
抽去空气的质量m/g	0.2017	0.2019	0.2022	0.2023	0.2023	0.2023



因此，抽真空时间最好应大于 30 s



等因素。

【误差分析】

1. 气压的测定  
实验中测得的气压需要后续进行修正。由于毛细作用所导致的水银面的降低,以及象牙针的尖端与标尺零点不一致,这些因素综合起来作为仪器的系统误差

2.  $m_0$  的测量

$m_0$  的误差主要来自空气是否抽取彻底,玻璃泡密封是否良好

【实验心得及思考题】

思考题1:

说明此玻璃泡漏气,所以不能再继续测量下去。应该要更换一个密封良好的玻璃泡。

思考题2:

最简单的方法便是使用排水法,取一个量程大于玻璃泡容积的量筒,向量筒压入  $V_1 L$  水,再向量筒中的水装满玻璃泡,之后量筒中水的体积变为  $V_2 L$ ,  $(V_1 - V_2)L$  即为玻璃泡的容积

思考题3:

不需要,因为最后计算空气密度时采用了差值法,即  $(m - m_0) = m$  相减避免了空气浮力的影响。

思考题4:

$$\rho = \frac{pVA}{mT}$$

$$pV = \frac{m}{M}RT$$

$$\rho \propto m$$

$\rho = \frac{m}{V}$  设空气真实的质量为  $m_0$ , 实际测得的质量为  $m$ 。

$$m = m_0 - \Delta pVM$$

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V}, \rho = \frac{m}{V}$$

$$\text{则误差为 } \frac{|\rho - \rho_0|}{\rho_0} \times 100\%$$

由实验数据,该误差大约为  $\frac{\Delta p}{p_0} = 0.127\%$ 。

思考题5:

- ① 抽气时间不足
- ② 温度、重力加速度对气压测量有影响
- ③ 水银气压计的误差
- ④ 玻璃泡的密封性。

实验心得:

基本了解了空气密度的测量方法。实验中的一些物理量会根据相应的修正公式进行修正,体现实验的严谨性。

【数据记录及草表】

$V = 165.224 \text{ cm}^3$ ,  $M_A = 28.98 \times 10^{-3} \text{ kg}$ ,  $t = 16.5^\circ \text{C}$

相对湿度: 69.1%  $p' = 1025.5 \text{ hPa}$ .

$m_1/g$  1 2 3 4 5 6  
~~28.98~~ ~~28.98~~

$m_0/g$

抽后

$t/s$  5 10 15 20 25 30.

$m_0/g$  28.0864

$m_1/g$  1 2 3 4 3 5 6  
~~28.80~~ ~~28.75~~ ~~28.76~~ ~~28.73~~ ~~28.77~~ ~~28.76~~

$m_0/g$  28.0855 28.0854 28.0855 28.0856 28.0854 28.0854

$t/s$  5 10 15 20 25 30  
 $m_0/g$  28.0859 28.0857 28.0854 28.0854 28.0856 28.0855

教师签字: