

浙 江 大 学

物 理 实 验 报 告

实验名称：空气密度测定

指导教师：肖婷

信 箱 号：

专 业：—

班 级：—

姓 名：—

学 号：—

实验日期：, . 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、并由此计算普适气体常量 R

【实验原理】（电学、光学画出原理图）

对于理想气体，其气体物态方程可表示为： $pV = \frac{m}{M} RT$ 。

一般来说，空气在通常情况下（压强不太大，温度不太低）也基本满足该方程。其中 p 为气压， V 是体积， R 为普适气体常量， M 为分子量

实验中以空气作为实验气体，近似认为 $V_{N_2} : V_{O_2} = 1:4$ 混合。

$$M_{O_2} = 32 \text{ g/mol}, \quad M_{N_2} = 28 \text{ g/mol} \quad \therefore M_A = 28.98 \text{ g/mol}$$

当空气充满某一容器时， p 和 T 就认为是当时的大气压强和室温。本实验可以从福廷式气压计和温度计上读出 p 和 T 。本实验的主要内容就是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 ，容器的体积 V 由实验室给出，于是空气密度为 $\rho = \frac{m}{V} = \frac{m_1 - m_0}{V}$ 。

由于空气密度与大气压强、温度和绝对湿度有关，因此测得的是在当时实验条件下的空气密度。若要换算成干燥的空气在标况下（ $p_0 = 1$ 大气压， $T_0 = 273.15 \text{ K}$ ）的数值，可用以下公式：

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

ρ 为实验条件下空气密度， p_0 为标准大气压， p 为实验测得大气压，

$\alpha = \frac{1}{273.15} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ， t 为实验温度（ $^\circ\text{C}$ ）， p_w 为水蒸气分压

$p_w = \text{相对湿度} \times p_{w0}$ ， p_{w0} 为该温度下饱和水汽压强（可查表得）

最后可求出普适气体常量为 $R = \frac{p_0 M_A}{T_0 \rho_{0T}}$



【实验内容】（重点说明）

1. 玻璃球泡抽气

- ① 将待抽玻璃球泡装在 $K_1 \sim K_3$ 的任意一个口上, 打开活塞, 其他活塞全关闭
- ② 启动机械泵对系统进行抽气, 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 (若同时抽多, 待抽的都关闭)
- ③ 在切断机械泵电源前, 为防止油倒灌需缓慢打开放气阀 K_4 , 慢慢地放气, 使抽气管系统与大气相通, 然后立即关停机械泵, 拔出玻璃泡

2. 计算普适气体常量

- ① 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的玻璃泡质量 m_0 . 然后玻璃泡上的活塞打开, 让空气进入
- ② 静置数分钟, 待泡内外空气状态相同时再分别称出玻璃泡质量 m_1
- ③ 利用公式计算 R 值, 并求相对误差
- ④ 利用相关公式计算 p_{0F} 值.

【实验器材及注意事项】

实验器材:

1. 低真空系统: 低真空指气压 $10 \sim 10^3 \text{ mmHg}$. 本实验使用机械真空泵来获得低真空,
2. 光电分析天平: 最小分度 0.1 mg , 最大称量为 200 g . 使用方法如下:
 - ① 止动, 左侧三挡砝码旋钮置于 0 位, 调水平. 调零点
 - ② 缓慢加减砝码
 - ③ 读数: 三个机械砝码旋钮数值之和加上观察屏上准线所对应的数值
 - ④ 测量时不必把止动架全放下来, 使用完毕后砝码要归 0.
3. 福廷式水银气压计

从带游标的标尺上读得水银柱高度 h , 以 10^2 Pa 为单位.

 - ① 温度修正: $p_{正} = \frac{p_{读'}}{1 + (\gamma - \beta)t} = p_{读'}(1 - 0.000163 t/^\circ\text{C})$.
 - ② 重力加速度修正: $p_{正} = p_{读'} \cdot \frac{g}{g_0}(1 - 0.000163 t/^\circ\text{C})$.



【数据处理与结果】

表1. 实验室环境与玻璃泡参数

玻璃泡容积	室温	相对湿度	福连式气压计读数
$V = 159.326 \text{ cm}^3$	$t = 21.0^\circ\text{C}$	$\phi = 50.1\%$	$p' = 1022.6 \text{ hPa}$

气压温度修正: $p_t' = \frac{p'}{1 + (\gamma - \beta)t} = p'(1 - 0.000163 t/^\circ\text{C}) = 1019.1 \text{ hPa}$
再进行重力加速度修正: 查阅资料得, 杭州 $g = 9.730 \text{ m/s}^2$
标准重力加速度 $g_0 = 9.80665 \text{ m/s}^2$
 $p = p_t' \frac{g}{g_0} = 1011.2 \text{ hPa}$

① 天平测量 表2. 电子天平测量空气质量

实验次数	1	2	3
m_0 / g	96.2068	96.2065	96.2066
m_1 / g	96.3974	96.3976	96.3972
$m_1 - m_0 / \text{g}$	0.1906	0.1911	0.1906

由 $\rho = \frac{m_1 - m_0}{V}$ 计算得: $\rho_1 = 1.196 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$
 $\rho_2 = 1.199 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$ $\rho_3 = 1.196 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$
 $\bar{\rho} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \rho_i = 1.197 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$
由公式 $\rho_{0T} = \rho \frac{p_0}{p} (1 + \alpha t) (1 + \frac{3 p_w}{8 p})$ $p_w = 50.1\% p_{w0}$, 代入 $p_0 = 1.01325 \times 10^5 \text{ Pa}$
 $\alpha = \frac{1}{273.15} ^\circ\text{C}^{-1}$, $t = 21.0^\circ\text{C}$, $p_{w0} = 2486.46 \text{ Pa}$ 得:
 $\rho_{0T} = 1.298 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$
再由 $R = \frac{p_0 M}{T_0 \rho_{0T}}$ $M = 28.98 \text{ g/mol}$ 计算得 $R_1 = 8.282 \text{ J/(mol}\cdot\text{K)}$
 $R_{\text{理论}} = 8.314 \text{ J/(mol}\cdot\text{K)}$ $Er_1 = \frac{|R_{\text{理论}} - R_1|}{R_{\text{理论}}} \times 100\% = 0.3849\%$

② 分析天平测量 表3. 分析天平测量空气质量 同理可计算得: $\rho = 1.226 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$
(12号分析天平)

测量次数	1
m_0 / g	96.25681
m_1 / g	96.45215

 $\rho_{0T} = 1.329 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$
 $R_2 = 8.089 \text{ J/(mol}\cdot\text{K)}$
 $Er_2 = 2.706\%$

【误差分析】

1. 气压的测量中, 温度与重力加速度的影响已经修正, 还有可能的误差就是水银温度计气压计的读数误差
2. 空气质量测量过程中, 由实验结果可知, 电子天平得到的结果较为精确。分析天平在调平、读数等方面均较难操作, 且较容易受到外部因素影响, 桌子轻微的振动都会让天平难以平衡。
3. 抽真空不彻底和玻璃泡的密封性都会影响^实验结果, 可以使用真空度更高的泵以及密封性更好的玻璃泡

【实验心得及思考题】

思考题: 1. 在测量已抽真空的玻璃泡质量的过程中, 若发现 m_0 的质量逐渐变大, 这说明什么问题? 是否还要继续测下去? 为什么?

说明玻璃泡漏气了, 不断有空气进入, 应中止实验, 换一个气密性更好的玻璃泡

2. 如何测量玻璃泡容积?

取一个量程大于玻璃泡容积的量筒, 加满水, 体积为 V_1 , 将量筒中的水注入玻璃泡, 加满后还剩 V_2 的水, $V_1 - V_2 = V_{\text{玻璃泡}}$

3. 在称衡玻璃泡的质量时, 是否需要考虑空气的浮力作用?

$$\begin{array}{l} \uparrow F_{N1} \\ \uparrow F_{B1} \\ \downarrow mg \\ \downarrow F_{B2} \end{array} \quad \begin{cases} m_1 g = F_{N1} + F_{B1} & \text{①} \\ m_0 g = F_{N0} + F_{B0} & \text{②} \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{①} - \text{② 得 } (m_1 - m_0)g = F_{N1} - F_{N2} \\ \therefore m_1 - m_0 = \frac{1}{g} (F_{N1} - F_{N2}) \end{array}$$

可以消除浮力的影响

4. 若抽真空后还剩 130 Pa 压强的残留空气, 将给测量结果带来多大影响?

实验条件可认为是理想气体. $pV = \frac{m}{M}RT$. 即 $p \propto m$.

$$\Delta p \propto \Delta m. \quad E_r = \frac{\Delta m / V}{(m_1 - m_0) / V} = \frac{\Delta m}{m_1 - m_0} = \frac{\Delta p}{p} = 0.128\%$$

5. 有哪些因素影响了实验结果的准确度?

仪器误差, 读数误差, 抽真空程度, 玻璃泡密封性等.

实验心得: 本次实验是我第一次学习使用分析天平, 略有难度但也已熟练掌握。简单的实验过程却能较为精确地测出普适气体常数和空气密度, 让人感叹实验设计之精妙!



【数据记录及草表】

容积
 $V = 159.326 \text{ cm}^3$

室温
 $t = 21.0^\circ\text{C}$

气压计读数
 $p' = 1022.6 \text{ kPa}$

相对湿度
50.1%

分析天平 96.25681
 m_0 ~~96.25681~~
 m_1 96.45215

电子天平
1
 m_0 (9) 96.2068
 m_1 (9) ~~96.3975~~
96.3974

2
96.2065

3
96.2066

96.3976

96.3972

+0.25

36.?

12号

96 + 0.03mg
0.030mg

教师签字: 2024.10.26