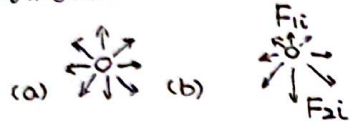


【实验目的】 用拉脱法测定液体表面张力系数

1. 了解 FB326A 型液体表面张力系数测定仪的基本结构, 掌握用砝码对测量仪进行定标的方法, 计算该传感器的灵敏度
2. 观察拉脱法测液体表面张力的物理过程和物理现象, 并用物理学基本概念和定律进行分析研究, 加深对物理规律的认识
3. 掌握用拉脱法测定纯水的表面张力系数及用逐差法处理数据

【实验原理】 (电学、光学画出原理图)

1. 表面张力



如(a), 液体内部分子受周围分子作用均匀, 合力为0. 但对液体表面的分子, 如(b), 其受空气中分子引力 F_{ii} 远小于受下方液体分子的引力 F_{ji} . 因此, 液力会使液体表面收缩. 这种力称为表面张力.

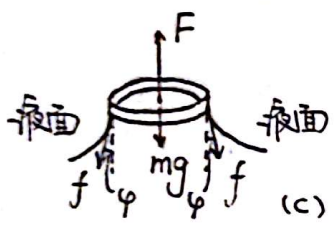
2. 表面张力系数

实验表明, 液体表面张力与接触面边界长度成正比, 即

$$f_{\text{张力}} = \alpha \cdot L \quad (1)$$

我们把比例系数 α 为表面张力系数.

3. 实验测量原理



如图(c), 将一洁净的圆筒形吊环吊入待测液中. 缓慢降低液面, 吊环将带起一层液膜. 此时液膜处液体分子表面张力与液膜相切, 与竖直方向成一小角度 φ . 称为湿润角(或接触角).

当液面继续降低时, φ 逐渐减小直至接近 0.

则有

$$F = (m + m_{\text{液}})g + f_{\text{内}} \cdot \cos \varphi + f_{\text{外}} \cdot \cos \varphi \quad (2)$$

其中 $m_{\text{液}}$ 是带起液膜的质量, $f_{\text{内}}$ 、 $f_{\text{外}}$ 分别为吊环内、外表面的张力.

当液膜拉断时, 由于 $m_{\text{液}} \ll m$, $\varphi \approx 0$, (2) 式简化为

$$F = mg + f_{\text{内}} + f_{\text{外}} \quad (3)$$

由(1), $f_{\text{内}} + f_{\text{外}} = \alpha (2\pi R_{\text{内}} + 2\pi R_{\text{外}})$ (4)

即

$$\alpha = \frac{F - mg}{2\pi (R_{\text{内}} + R_{\text{外}})} \quad (5)$$

杭州地区 $g = 9.793 \text{ m/s}^2$.

【实验内容】（重点说明）

1. 准备 清洗有机玻璃皿和吊环, 将有机玻璃皿放入被测液体中。

2. 对力敏传感器定标。① 将砝码盘挂在力敏传感器的钩上, 读出此时读数 V_0 。

② 共加 7 个标准砝码, 每个标准砝码 $m_0 = 500.00 \text{ mg}$ 。
每加一个, 在电压显示器读出电压值, 记录到表格中。

③ 将砝码依次取下, 每取下一个, 同样记录电压值。

④ 用逐差法计算转换系数 $K = \frac{m_0 g}{\Delta V}$ (6)

3. 用拉脱法测量拉力。

① 测量吊环内外直径 $D_{\text{内}}$, $D_{\text{外}}$

② 挂上吊环, 读取电压示数 V_0 和水温 T , 调节吊环水平

③ 逆时针转动活塞调节旋钮使液面上升, 至没过吊环

④ 将仪器改为峰值测量, 缓慢顺时针转动旋钮使液面下降。吊环液面拉断瞬间记录拉力峰值 V_1 。

⑤ 将仪器改回随机测量, 静止后读数为 V_2 。

⑥ 重复 ④ ~ ⑤, 共做 5 次, 取平均值

⑦ 改变温度, 每隔 5°C 测一次。

【实验器材及注意事项】

FB326A 型液体表面张力系数测定仪

① 底座, 立柱, 传感器固定支架

② 压阻式力敏传感器。 [注意: 受力量程 $0 \sim 0.098 \text{ N}$]。 数字式毫伏表

③ 热敏电偶 (温度传感器) [注意: 热敏电偶应浸设在水中]。 数字式温度表。

④ 有机玻璃器皿 (连通器) [注意: 调节液面升降活塞时, 应尽可能缓慢, 减小液面波动]

⑤ 标准砝码, 砝码盘。

⑥ 圆筒形吊环。 [注意: a. 吊环应尽可能水平。 偏差 1° 会引入结果误差 0.5% ; 偏差 2° 引入误差 1.6%

b. 实验结束后须将吊环用清洁纸擦干包好放入干燥皿。]

【数据处理与结果】

(1) 对力敏传感器定标

砝码质量 (10^{-6}kg)	增量读数 $V_i' \text{ (mV)}$	减量读数 $V_i'' \text{ (mV)}$	$V_i = \frac{1}{2}(V_i' + V_i'') \text{ (mV)}$	砝码质量 (10^{-6}kg)	V_i' (mV)	V_i'' (mV)	V_i (mV)	逐差 (mV) $\Delta V_i = V_{i+4} - V_i$
0	47.4	47.1	47.25	2000	66.6	66.3	66.45	19.2
500	52.4	51.9	52.15	2500	71.4	71.4	71.4	19.25
1000	57.0	57.0	57.0	3000	75.9	75.7	75.8	18.8
1500	61.9	61.3	61.6	3500	80.7	80.7	80.7	19.1

$$\overline{\Delta V} = \frac{1}{4 \times 4} (\Delta V_0 + \Delta V_1 + \Delta V_2 + \Delta V_3) = 4.7719 \text{ mV} \approx 4.77 \text{ mV}$$

$$A \text{ 类不确定度 } U_{\Delta V, A} = \sqrt{\frac{1}{3 \times 4} \sum_{i=0}^3 (\frac{\Delta V_i}{4} - \overline{\Delta V})^2} = 0.0252 \text{ mV} = 0.03 \text{ mV}$$

$$\therefore \text{转换系数 } K = \frac{m \cdot g}{\Delta V} = 1.027 \times 10^{-3} \text{ N/mV}, \Delta V = (4.77 \pm 0.03) \text{ mV}$$

(杭州地区 $g = 9.793 \text{ m/s}^2$)

(2) 吊环内外直径

测量次数	1	2	3	4	5	6
$D_{\text{内}} / \text{mm}$	33.36	33.30	33.20	33.12	33.08	33.16
$D_{\text{外}} / \text{mm}$	34.42	34.50	34.74	34.82	34.70	34.72
$L = \pi(D_{\text{内}} + D_{\text{外}}) \text{ (mm)}$	212.94	213.00	213.44	213.44	212.94	213.25

$$B \text{ 类不确定度 } U_B = \frac{\Delta x}{\sqrt{3}} = 0.01 \text{ mm}$$

$$\therefore L \text{ 的不确定度 } U_L = \pi \sqrt{U_{D_{\text{内}}}^2 + U_{D_{\text{外}}}^2} = \pi \sqrt{U_{D_{\text{内}}, A}^2 + U_B^2 + U_{D_{\text{外}}, A}^2 + U_B^2} = 0.23 \text{ mm}$$

$$\therefore L = (213.16 \pm 0.23) \text{ mm}$$

$$\overline{D_{\text{内}}} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 D_{\text{内}i} = 33.20 \text{ mm}$$

$$\overline{D_{\text{外}}} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 D_{\text{外}i} = 34.65 \text{ mm}$$

$$L = \pi(\overline{D_{\text{内}}} + \overline{D_{\text{外}}}) = 213.16 \text{ mm}$$

A类不确定度

$$U_{D_{\text{内}}, A} = \sqrt{\frac{1}{5 \times 6} \sum_{i=1}^6 (D_{\text{内}i} - \overline{D_{\text{内}}})^2} = 0.04 \text{ mm}$$

$$U_{D_{\text{外}}, A} = \sqrt{\frac{1}{5 \times 6} \sum_{i=1}^6 (D_{\text{外}i} - \overline{D_{\text{外}}})^2} = 0.06 \text{ mm}$$

(3) $T_1 = 25.2^\circ \text{C}$ (室温) 下拉脱法读数

测量次数	1	2	3	4	5
下拉脱值 V_1 / mV	63.1	63.5	63.4	63.5	63.7
吊环对应 V_2 / mV	48.0	48.1	48.0	48.0	47.9
$V = V_1 - V_2 \text{ (mV)}$	15.1	15.4	15.4	15.5	15.8

$$\overline{V} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 V_i = 15.44 \text{ mV}$$

$$A \text{ 类不确定度 } U_{V, A} = \sqrt{\frac{1}{4 \times 5} \sum_{i=1}^5 (V_i - \overline{V})^2} = 0.11 \text{ mV}$$

$$\therefore V = (15.44 \pm 0.11) \text{ mV}$$

(下转附纸)

(4) 室温 $T_1 = 25.2^\circ\text{C}$ 下水的表面张力系数

$$\alpha = \frac{K \cdot V}{L} = 7.439 \times 10^{-2} \text{ N/m}$$

由于 $\alpha = \frac{K \cdot V}{L} = \text{m} \cdot \text{g} \cdot \frac{V}{\Delta V \cdot L}$

因此 α 的不确定度

$$U_\alpha = \alpha \cdot \sqrt{\left(\frac{U_{\Delta V}}{\Delta V}\right)^2 + \left(\frac{U_V}{V}\right)^2 + \left(\frac{U_L}{L}\right)^2}$$

$$= 0.07 \times 10^{-2} \text{ N/m}$$

$$\therefore \alpha = (7.44 \pm 0.07) \times 10^{-2} \text{ N/m}$$

(5) 其他温度下水的表面张力系数

测量次数 n	0	1	2	3	4	5
水温 $T (^\circ\text{C})$	25.2	28.9	34.7	38.3	42.4	47.3
拉脱峰值 V_1 (mV)	63.4	63.6	63.6	63.8	63.1	62.9
吊环对应 V_2 (mV)	48.0	48.1	48.0	48.5	48.2	48.3
$V = V_1 - V_2$ (mV)	15.4	15.5	15.6	15.3	14.9	14.6
$\alpha = \frac{K \cdot V}{L}$ (N/m)	7.44 $\times 10^{-2}$	7.47 $\times 10^{-2}$	7.52 $\times 10^{-2}$	7.38 $\times 10^{-2}$	7.18 $\times 10^{-2}$	7.03 $\times 10^{-2}$

(注: $n=0$ 为(4)得到的室温结果).

- 【误差分析】**
- 关于力敏传感器定标。
 - ① 由于标准砝码上有手写序号, 因此 $m_0 = 500.00 \text{ mg}$ 可能不准
 - ② 由于实验室有风, 示数难以稳定, 存在误差。
 - 关于吊环内外径测量。
 - ① 游标卡尺较旧, 有锈迹, 可能引起误差。
 - ② 环并非均匀的圆形, 测6次内、外径极差达1%。
 - ③ 对环内、外径测量时, 不一定能精准找到直径位置 (尤其是外径), 引起 L 计算的较大误差。
 - 关于拉脱法读数。
 - ① 由于吊环形状限制 (如右图), 三根吊绳长度存在一定差异, 导致吊环很难做到水平, 引入一定误差。
 - ② 由于拉脱过程需要一定时间, 在这段时间内, 液体温度可能发生变化。另外, 温度传感器在容器下方, 其温度与表面存在一定差异, 尤其是加热时液体上、下层温差较大。
 - ③ 容器中水质较差。测量结果与纯水会有显著差异。
 - ④ 热敏电偶表面附着有杂物, 会明显影响温度读数结果。



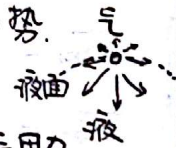
【实验心得及思考题】

思考题:

1. 表面张力是作用于液体表面, 使液体表面收缩的力。在液体表面, 分子受力不均匀, 其受空气中分子的引力远小于受下方液体分子的引力, 因此合力会使表面整体呈现收缩趋势。

影响因素:

- (1) 液体的性质。不同液体, 分子间作用力不同, 表面张力大小因而有别。
- (2) 气体的状态: 不同压力、湿度等条件下, 气体中分子对液面分子吸引力也不同。
- (3) 温度。较高温度下, 分子热运动加剧, 液体分子间作用力减小的速率远大于气、液分子, 因此表面张力减小。



2. 近似: 近似认为 $f_{外} = f_{内}$, $\varphi_{外} = \varphi_{内}$
 由于湿润角 $\varphi \approx 0$, 将 $\cos \varphi$ 近似为 1。

物理意义:
$$\alpha = \frac{F - (m + m_0)g}{\pi(D_{内} + D_{外})}$$

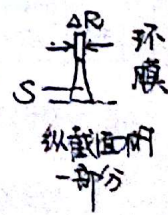
F : 拉起液膜破裂时的拉力 m : 液膜质量
 m_0 : 吊环质量 g : 重力加速度
 $D_{内}$ 、 $D_{外}$: 吊环内、外径
 α : 液体表面张力系数。

3. 物理本质: 通过拉力峰值与吊环重量之差测量表面张力; 通过吊环测量接触面边界长度, 从而间接测出液体表面张力系数。

4. 修正: 忽略液膜质量 $m_{液}$ 会导致测量出的 α 比实际的 α_0 (不忽略) 偏大。

$$\Delta\alpha = \alpha - \alpha_0 = \frac{m_{液}g}{\pi(D_{内} + D_{外})} \quad (7)$$

由于各次试验时 $m_{液}$ 基本相等, 因此 $\Delta\alpha$ 近似为一个常量。修正的重点是估计 $m_{液}$ 的值。

如右图, 膜的体积 $V = (\pi D) \cdot S$ (8) 

由于 $\varphi \approx 0$, 因此 S 近似长方形。只需目测液膜高度与环宽度的相对大小, 从而估测液膜高度 h 。

$$则 S \approx h \cdot \Delta R = h \cdot \frac{D_{外} - D_{内}}{2} \quad (9)$$

$$又 m_{液} = \rho V \quad (10)$$

联立 (7) ~ (10) 式可估测 $\Delta\alpha$ 的值, 修正时在测出的 α 基础上减去 $\Delta\alpha$ 即可。

实验心得: 应尽早检测实验器材条件。我由于事先未检查, 定标后才发现传感器无法调节高度导致更换了仪器; 又由于吊环很难水平导致更换后需重新测量内外径, 浪费了较多时间。