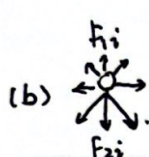
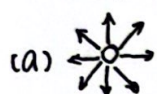


【实验目的】

- ① 了解FB326A型液体的表面张力系数测定仪的基本结构,掌握用标准砝码对测量仪进行标定的方法,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和研究,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



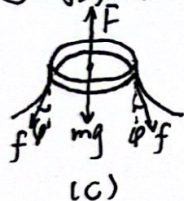
如图(a),液体内部分子受周围分子作用的均匀,合力为0

但对液体表面的分子,如图(b),其受空气中分子引力 F_{1i} 远小于受下方液体分子的引力 F_{2i} 。因此该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 $f_{\text{张力}} = \alpha \cdot L$ 。我们称比例系数 α 为表面张力系数。

③ 测量原理



如图(c),将一法定的圆筒形吊环浸入待测液中,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

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

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

$$F = mg + f_{\text{内}} + f_{\text{外}}$$

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

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

$$\text{杭州地区 } g = 9.793 \text{ m/s}^2$$



【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时钩上，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，钩取下个，同样记录电压值。
 - (4) 用逐差法计算转换系数 $k = \frac{mg}{\Delta V}$
- ③ 用拉脱法计算张力
 - (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) 逆时针转动流量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 (3)~(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】

FB226A 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 热敏电阻（温度传感器）（注意：热敏电阻应浸没在液体中）、数字式温度计
- ④ 有机玻璃器皿（连通器）（注意：调节液面升降流量时，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：吊环应尽可能水平。倾斜 1° 会引入结果误差 0.5% ；倾斜 2° 引入误差 1.6% ）
实验结束后吊环不用清洗，用纸擦干包好放入干燥箱。



【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' (mV)	减量读数 V_i'' (mV)	$V_i = \frac{1}{2}(V_i' + V_i'')$ (mV)	砝码质量 (10 ⁻⁶ kg)	增量读数 V_i' (mV)	减量读数 V_i'' (mV)	$V_i = \frac{1}{2}(V_i' + V_i'')$ (mV)	误差(mV) $\Delta V_i = V_{i+1} - V_i$
0	22.8	19.8	21.3	2000	21.8	28.8	30.3	9
500	23.4	21.6	23.5	2500	33.7	31.7	32.7	9.2
1000	27.9	23.9	25.9	3000	35.6	34.5	35.05	9.15
1500	30.2	26.9	28.55	3500	37.3	36.7	37.0	8.45

$$\therefore \Delta V = \frac{1}{16} (\Delta V_0 + \Delta V_1 + \Delta V_2 + \Delta V_3) = 2.2375 \text{ mV} = 2.24 \text{ mV}$$

$$\therefore \text{转换系数 } k = \frac{\text{mV}}{\Delta V} = \frac{500 \times 10^{-6} \text{ kg} \cdot 9.793 \text{ m/s}^2}{2.24 \times 10^{-3} \text{ V}} = 2.186 \text{ N/V}$$

(2) 吊环内外直径

测量次数	1	2	3	4	5	6
$D_{\text{内}}/\text{mm}$	33.32	33.30	33.30	33.30	33.32	33.30
$D_{\text{外}}/\text{mm}$	34.96	34.96	34.94	34.96	34.96	34.96
$L = \pi(D_{\text{内}} + D_{\text{外}})/\text{mm}$	214.51	214.45	214.38	214.45	214.45	214.45

$$\bar{D}_{\text{内}} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 D_{\text{内}i} = 33.31 \text{ mm} \quad \bar{D}_{\text{外}} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 D_{\text{外}i} = 34.96 \text{ mm} \quad \bar{L} = \pi(\bar{D}_{\text{内}} + \bar{D}_{\text{外}}) = 214.48 \text{ mm}$$

(3) $T = 17.5^\circ\text{C}$ 下拉脱法读数

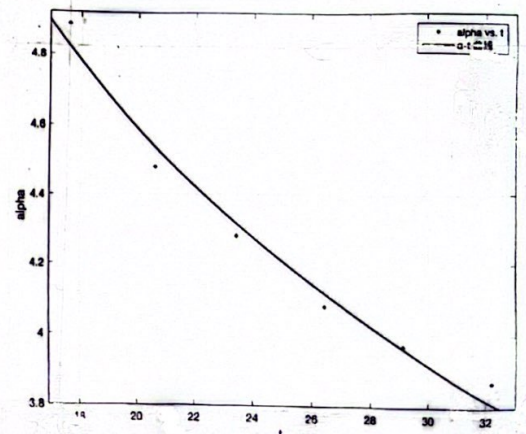
测量次数	1	2	3	4	5	6
下拉峰值 V_1/mV	26.1	25.7	25.4	25.4	25.1	24.5
吊环对应 V_2/mV	21.2	20.5	20.2	20.3	20.0	19.6
$V = V_1 - V_2/\text{mV}$	4.9	5.2	5.2	5.1	5.1	4.9

$$\bar{V} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 V_i = 5.07 \text{ mV}, \quad \alpha = \frac{k \cdot \bar{V}}{\bar{L}} = \frac{2.186 \text{ N/V} \cdot 5.07 \times 10^{-3} \text{ V}}{214.48 \times 10^{-3} \text{ m}} = 5.17 \times 10^{-2} \text{ N/m}$$

$$\text{查表得相对误差 } e = \frac{7.275 - 5.167}{7.275} \times 100\% = 29.0\%$$

(4) 其他温度下水的表面张力系数

测量次数	1	2	3	4	5	6
水温 $T(^{\circ}\text{C})$	17.6	20.6	23.4	26.4	29.1	32.2
下拉峰值 V_1/mV	24.4	24.0	23.6	23.3	23.2	23.3
吊环对应 V_2/mV	19.6	19.6	19.4	19.3	19.3	19.5
$V = V_1 - V_2/\text{mV}$	4.8	4.4	4.2	4.0	3.9	3.8
$\alpha = \frac{k \cdot V}{L} (10^{-2} \text{ N/m})$	4.89	4.48	4.28	4.08	3.97	3.87

作 $\alpha-T$ 曲线如右图, 其中拟合结果为 $\alpha = 14.7724t^{-0.3903}$, $R^2 = 0.9806$ 

【误差分析】

- ①关于力敏传感器定标 (1) 由于标准砝码上有手号序号, 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。
- ②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, 则 6 次内、外径测量较大。
(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), 引起计算的较大误差。
- ③关于拉脱法读数 (1) 由于吊环形状限制, 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, 尤其是加热的液体上, 下层温差较大。
(3) 容器内液体较深, 测量结果与纯水会有显著差异。
(4) 热敏电阻表面附着有杂物, 会明显影响温度读数结果。

【实验心得及思考题】

①实验心得

本次实验我了解到了 FB326A 型液体的表面张力系数测定仪的基本结构, 掌握了用标准砝码对测量仪进行示标的做法, 学会了观察拉脱法测液体表面张力的物理过程和物理现象, 利用拉脱法测纯净水的表面张力系数及用逐差法处理数据, 实验本身是较为顺利的, 但最后的结果及误差让我大吃一惊, 可能有多方面造成了如此大的误差, 下次应当多注意。

②思考题

1) Q: 在圆环上提水膜即将破裂时 $F = mg + F_{\text{拉脱}}$, 若过早读数, 对实验结果会有什么影响?

A: 若过早读数, 则圆角较大, $\cos\theta$ 不可近似为 1, 若将 F 视为 $mg + f$, 则测得的液体表面张力偏小。

2) Q: 圆环或玻璃容器不清洁, θ 会有什么变化?

A: 圆环或玻璃容器不清洁, 则液体易吸附在圆环与液面的交界处, ^{增大} θ , 液体表面张力使 θ 偏大。



【数据记录及草表】

(1) 对力敏传感器定标

砝码质量 (10^{-3} kg)	增量读数 V_1' (mV)	减量读数 V_1'' (mV)	$V_i = \frac{1}{2}(V_1' + V_1'')$ (mV)	
0	22.8	19.8	21.3	
500	25.4	21.6	23.5	
1000	27.9	23.9	25.9	
1500	30.2	26.9	28.5	
2000	31.8	28.8	30.3	9
2500	33.7	31.7	32.7	9.2
3000	35.6	34.5	35.05	9.5
3500	37.3	36.7	37.0	8.45

(2) 吊环内外直径

测量次数	1	2	3	4	5	6
$D_{内}/mm$	33.32	33.30	33.30	33.30	33.32	33.30
$D_{外}/mm$	34.96	34.96	34.94	34.96	34.96	34.96
$L = \pi(D_{内} + D_{外})/mm$	214.51	214.45	214.38	214.45	214.51	214.45

(3) $T_1 = 17.5^\circ C$ 下拉脱法读数

测量次数	1	2	3	4	5	6
下拉脱峰值 V_1/mV	26.1	25.7	25.4	25.4	25.1	24.5
吊环对应 V_2/mV	21.2	20.5	20.2	20.3	20.0	19.6
$V = V_1 - V_2/mV$	4.9	5.2	5.2	5.1	5.1	4.9

(4) 其他温度下水的表面张力系数

测量次数	0	1	2	3	4	5
水温 $T/^\circ C$	17.6	20.6	23.4	26.4	29.1	32.2
下拉脱峰值 V_1/mV	24.4	24.0	23.6	23.2	23.2	23.3
吊环对应 V_2/mV	19.6	19.6	19.4	19.3	19.3	19.5
$V = V_1 - V_2/mV$	4.8	4.4	4.2	4.0	3.9	3.8

$$\alpha = \frac{k \cdot V}{L} (N/m).$$

教师签字:

朱 11.25

