

## 实验目的

- ① 学习传感器的标定方法
- ② 观察拉脱法测液体表面张力的物理现象, 加深对物理规律的认识
- ③ 测量室温下以及其他液体表面张力系数

## 实验原理

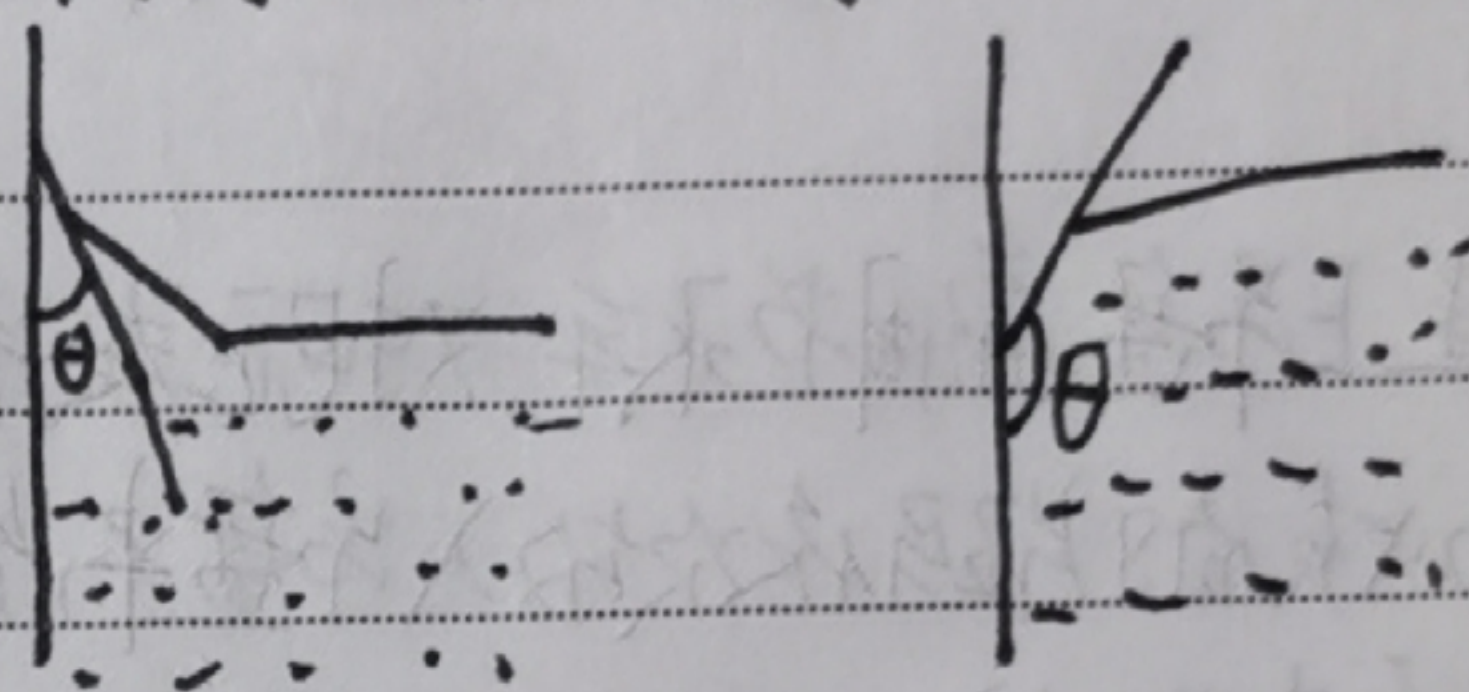
### (1) 表面张力的概念

液体内部的每一个分子周围被同类分子包围, 所以受到分子间相互作用力的合力为零, 为液体表面层液体与气体, 固体或其他混合的液体表面, 其厚度等于分子的作用半径, 约  $10^{-8} \text{m}$ , 故合力不为零, 其合力方向垂直指向液体内部, 导致液体表面有收缩的趋势, 这种收缩力称为表面张力

### (2) 浸润与不浸润

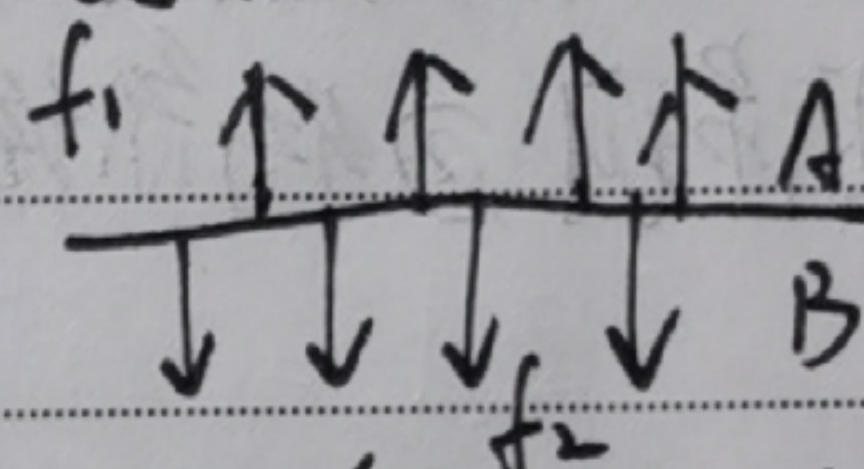
当液体与固体接触时, 若固体和液体分子间吸引力大于液体分子之间的吸引力, 液体就会形成薄膜附在固体上称为浸润, 反之称为不浸润

$\theta$  称为液体与固体之间的接触角



### (3) 表面张力系数 $f, f_1 = f_2 = \alpha L$

$\alpha$  为液体表面张力系数, 单位为  $\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$ , 数值上等于单位长度上的表面张力, 且其大小与液体温度, 浓度, 种类与界面处的相物质的性质有关



### (4) 拉脱法测液体表面张力系数

将挂有力敏传感器的金属环浸入盛有液体的玻璃器皿中, 缓慢拉力金属环, 传感器受到拉力逐渐增加, 最终达到最大值  $F_1 = G + f$ . 当拉力超过  $F_1$ , 此时传感器拉力变为  $F_2 = G$ , 则表面张力  $f$  为拉力差  $f = F_1 - F_2$ . 由于水柱有两个柱面, 故  $f = 2\alpha L (d_1 + d_2) \Rightarrow \alpha = \frac{f_1 - f_2}{2L(d_1 + d_2)}$ , 即表面张力系数

### (5) 力敏传感器

力敏传感器为硅压阻式敏传感器, 也称为半导体惠斯登, 以数字式电压输出,  $\Delta F = \frac{\Delta V}{B}$

$B$  表示力敏传感器的灵敏度, 则  $f = F_1 - F_2 = \frac{(V_1 - V_2)}{B}$

综上, 表面张力系数  $\alpha = \frac{V_1 - V_2}{2B(d_1 + d_2)}$



## 实验仪器

液体表面张力系数测定仪 DH4607A, DH4607A 液体张力系数测定仪、游标卡尺

## 实验步骤与数据记录

1. 开机预热 15min

2. 清洗玻璃器皿

3. 用游标卡尺测吊环的内径各三次, 将数据填入下表

注意: ①测内、外径时, 加对准直径 ②转动吊环测不同位置的, 内、外径

4. 定标

①调节底座水平, 挂上吊盘并调节水平, 对电压表清零

②将 8 个质量均为 0.5g 的砝码依次放入吊盘中, 分别记下电压表的读数再依次从吊盘中取出砝码, 记下电压表数据

③用逐差法处理数据, 求力敏传感器的灵敏度

注意: ①轻拿轻放, 以免拉断吊钩 ②将系统稳定后读数 ③处理数据时将 13

单位从  $\text{mV}/0.5\text{g}$  转换为  $\text{V}/\text{N}$

5. 测定水表面张力

(1) 将盛水的玻璃器皿置于平台上, 将吊环调节水平, 并对电压表清零

(2) 逆时针旋转升降螺钉使玻璃器皿中液体上升, 当环下沿部分浸入液体中时, 改为顺时针转动螺钉, 观察环浸入液体中及从液体中拉起时的物理现象, 记录吊环

拉断前的一瞬间数字电压表的读数  $U_1$ , 拉断后的一瞬间数字电压表的读数  $U_2$

重复测量 6 次并记录实验数据

(3) 求出液体张力并与标准值比较 ( $T=25^\circ\text{C}$  时,  $\alpha=7.2 \times 10^{-2} \text{N/m}$ )

6. 整理实验器材并放回原处



# 实验数据处理

## 测定力敏传感器灵敏度

次数	增量时读数 $V/mV$	减量时读数 $V/mV$	平均值 $\bar{V}/mV$
1	0.6	0.4	0.5
2	15.4	15.2	15.3
3	31.7	31.5	31.6
4	48.1	48.3	48.1
5	63.7	64.2	63.95
6	79.9	80.7	80.3
7	96.1	96.4	96.25
8	112.0	112.4	112.2

$$\Delta V = \frac{(V_4 - V_3) + (V_6 - V_2) + (V_8 - V_1) + (V_4 - V_0)}{4 \times 4} = 16.0563 mV$$

$$B = \frac{\Delta V}{F} = \frac{16.0563 \times 10^{-3}}{0.5 \times 10^{-3} \times 10} = 3.211$$

## 测定环内外径

次数	$D_1$	$\bar{D}_1$	$D_2$	$\bar{D}_2$
1	3.450		3.268	
2	3.458	3.458	3.268	3.268
3	3.466		3.270	

## 测定水表面张力系数

次数	$V_1/mV$	$V_2/mV$	$\Delta V/mV$	$\Delta \bar{V}/mV$
1	49.3	-0.5	49.8	
2	49.1	-0.6	49.7	
3	49.2	-0.8	50.0	49.93
4	49.2	-0.5	49.7	
5	49.2	-0.6	49.8	
6	50.1	0.5	50.6	

$$\Delta \bar{V} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 \Delta V = 49.38 mV \quad \bar{f} = \frac{\Delta \bar{V}}{B} = \frac{49.38 \times 10^{-3}}{3.211} = 1.488 \times 10^{-2} N/m$$

$$\alpha = \frac{\bar{f}}{\pi(D_1 + D_2)} = \frac{1.488 \times 10^{-2}}{3.14 \times (3.458 + 3.268)} = 7.05 \times 10^{-2} N/m$$

$$E = \left| \frac{\Delta \alpha}{\alpha_0} \right| = \left| \frac{7.05 \times 10^{-2} - 7.2 \times 10^{-2}}{7.2 \times 10^{-2}} \right| = 2.08\%$$



## 实验结论

- (1) 测得水表面张力系数为  $7.05 \times 10^{-2} \text{ N/m}$
- (2) 实验时需保持金属环清洁, 不然会导致实验结果有误差
- (3) 表面张力系数大小与液体温度、浓度、种类以及界面处两相物质性质有关

## 实验讨论

### 注意事项:

- (1) 保证测量环境的清洁, 每次实验前要用酒精擦拭玻璃器皿和吊环, 并且用蒸馏水冲洗干净, 用热风吹干, 使用过程中防止灰尘油污或其他污染, 特别注意手指不要接触被测液体
- (2) 数字电压表需开机预热 15min, 需待电压表输出稳定后再读数
- (3) 吊环水平要尽量调节好
- (4) 力敏传感器使用时力不宜过大, 过大的拉力会使传感器损坏
- (5) 调节升降位时, 防止操作台受震动, 尽量使液体波动最小
- (6) 测量内、外径时, 要对准直径
- (7) 数据处理时, 将单位从  $\text{mV/a.g}$  转换为  $\text{V/N}$

### 误差分析

- (1) 所测液体不纯, 引起系统误差  
保持盛水玻璃器皿清洁, 尽量使用蒸馏水进行试验
- (2) 升降台转动时, 液面存在波动  
为减小误差, 当液面下降时, 可以缓慢旋转, 避免水晃动
- (3) 测量内、外径时, 存在误差  
测量吊环内、外径时, 可以选择不同方向, 多次测量取平均值



## 思考题

1) 如果金属环不清洁会给测量带来什么影响? 所测得表面张力系数会偏大, 还是偏小?  
即使表面张力系数的测量值偏小, 因为表面张力与水的纯净度有关, 水越纯净, 就越接近其真实的表面张力, 若不清洁, 对生成的薄膜造成一定影响, 试验中, 拉断液体高度也会改变从而影响实验结果。

2) 分析水膜即将拉断时数字电压表读数减小的原因。

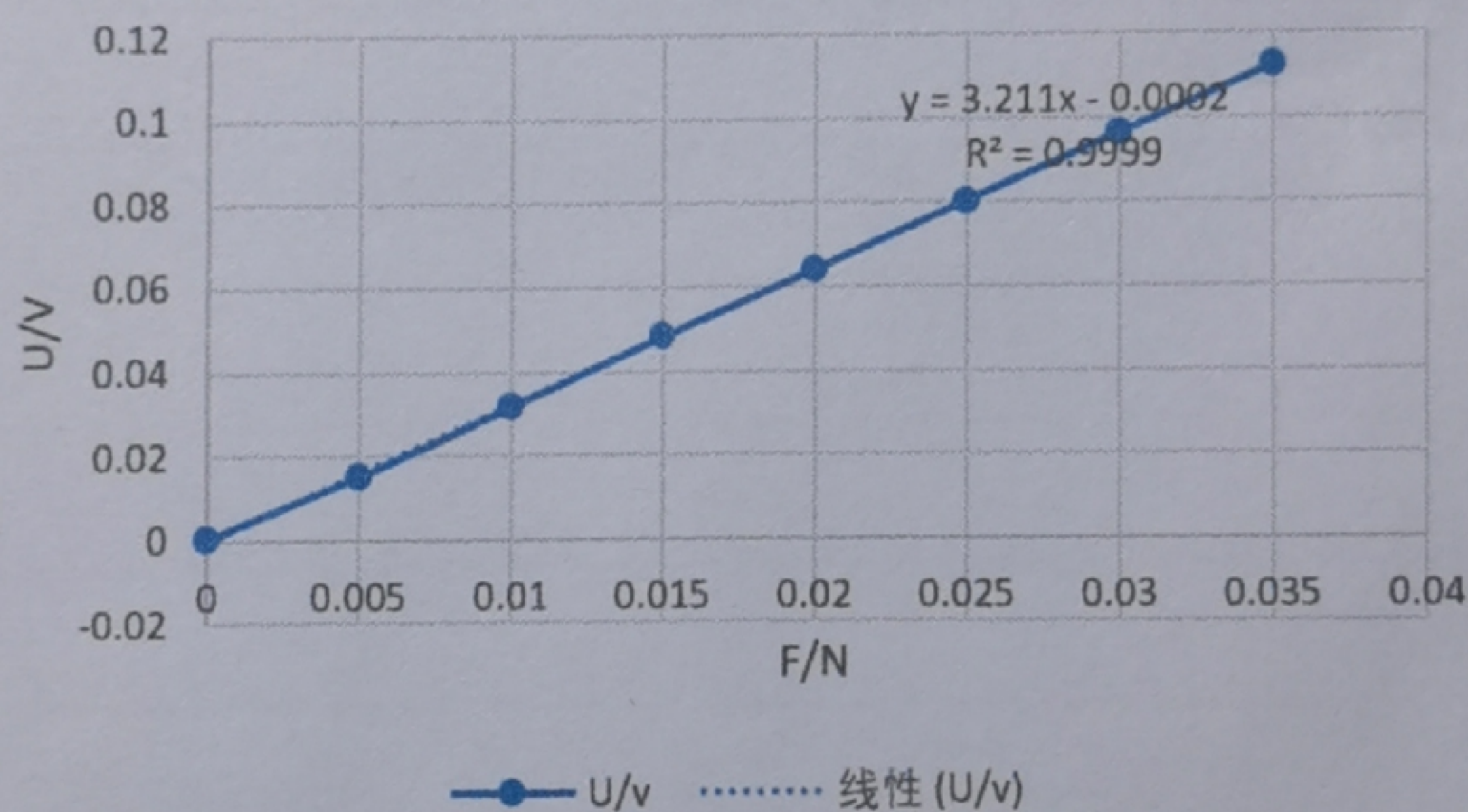
随着小环的继续升高, 它拉起液体越来越高, 它拉起的水柱也越来越陡, 液体将滑落, 故数字电压表读数减小。

3) 还可以用哪些方法对力敏传感器灵敏度的实验数据进行处理?

① 数据拟合法, ② 频率分析法, ③ 图表分析法

F/N	U/v
0	0.0005
0.005	0.0153
0.01	0.0316
0.015	0.0481
0.02	0.06395
0.025	0.0803
0.03	0.09625
0.035	0.1122

U关于F的线性拟合





## 原始记录

## 测定力敏传感器灵敏度.

次数

增量时读数  $V/mV$ 减量时读数  $V/mV$ 平均值  $\bar{V}/mV$ 

1

0.6

0.4

0.5

2

15.4

15.2

15.3

3

31.7

31.5

31.6

4

47.9

48.3

48.1

5

63.7

64.2

63.95

6

79.9

80.7

80.3

7

96.1

96.4

96.25

8

112.0

112.4

112.2

$$\Delta U = \frac{(V_1 - V_2) + (V_6 - V_2) + (V_5 - V_1) + (V_4 - V_0)}{4 \times 4} = 16.0563 mV$$

$$B = \frac{\Delta U}{F} = \frac{16.0563 \times 10^{-3}}{0.5 \times 10^{-3} \times 10} = 3.211$$

## 测定吊环内外径

次数

 $D_1$  $\bar{D}_1$  $D_2$  $\bar{D}_2$ 

1

3.450

3.268

2

3.458

3.458

3.266

3.268

3

3.466

3.270

## 测定水的表面张力系数.

次数

 $V_1/mV$  $V_2/mV$  $\Delta V/mV$  $\bar{\Delta V}/mV$ 

1

49.3

-0.5

49.8

2

49.1

-0.6

49.7

3

49.2

-0.8

49.4

49.93

4

49.2

-0.5

49.7

5

49.2

-0.6

49.8

6

49.50.1

0.5

49.50.6

3.211

$$\bar{\Delta V} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 \Delta V_i = 41.88 mV$$

$$\bar{F} = \frac{\bar{\Delta V}}{B} = \frac{41.88 \times 10^{-3}}{3.211} = 1.298 \times 10^{-2} N/m$$

$$\alpha = \frac{\bar{F}}{\pi(D_1 + D_2)} = \frac{1.298 \times 10^{-2}}{3.14 \times (3.458 + 3.268)} = 7.05 \times 10^{-2} N/m$$

$$E = \left| \frac{\Delta \alpha}{\alpha} \right| = \left| \frac{7.05 \times 10^{-2} \cdot 7.1 \times 10^{-2}}{7.2 \times 10^{-2}} \right| = 2.08\%$$