

实验目的

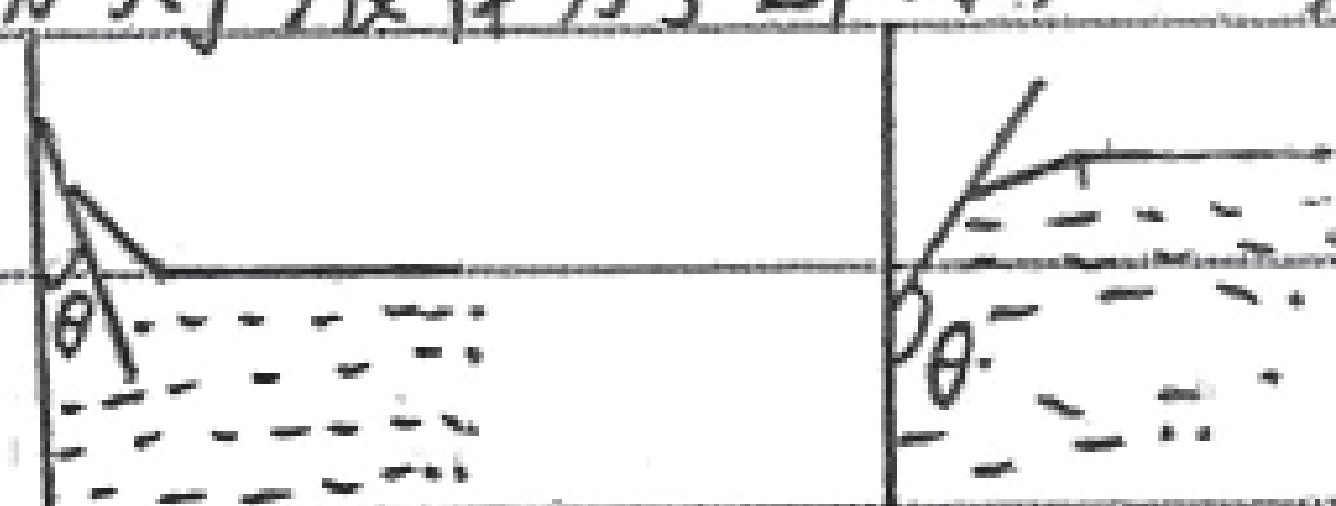
- (1) 学习传感器的定标方法。
- (2) 观察拉脱法测液体表面张力的物理现象, 加深对物理规律的认识。
- (3) 测量室温下水和其他液体的表面张力系数。

实验原理 (1) 液体表面张力的概念

液体内部的每个分子周围都被同类的分子包围, 所以受到分子间相互作用力的合力为零, 而液体表面层(液体与气体、固体或其他不相混溶的液体表面, 其厚度等于分子的作用半径, 约 10^{-8} cm) 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着在固体上称为浸润, 反之称为不浸润。
θ 称为液体与固体之间的接触角。



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

α 为液体表面张力系数, 单位为 $N \cdot m^{-1}$, 数值上等于单位长度上的表面张力, 且 α 大小与液体的温度、浓度、种类和界面处两相物质的性质有关。



(4) 拉脱法测表面张力系数

将挂有力敏传感器的金属环浸入盛有液体的玻璃器皿中, 缓慢拉动金属环, 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: $f = F_1 - F_2$, 由于水柱有所柱面故 $f = \alpha \pi (D_1 + D_2) \Rightarrow \alpha = \frac{F_1 - F_2}{\pi (D_1 + D_2)}$, 即表面张力系数。

力敏传感器

力敏传感器为硅压阻式力敏传感器, 也称为半导体应变计, 以数字电压输出显示, $\Delta F = \frac{\Delta U}{B}$

B 为力敏传感器的灵敏度, 则 $f = F_1 - F_2 = \frac{(U_1 - U_2)}{B}$

综上: 表面张力系数 $\alpha = \frac{U_1 - U_2}{\pi B (D_1 + D_2)}$



实验仪器 DH4607A 液体表面张力系数测定仪, 游标卡尺, 砝码.

(1) ~~学习了传感器的标定方法~~

(2) ~~观察了传感器的法测液体表面张力的物理现象, 加深了对物理规律的理解~~

实验步骤与数据记录

(1) 测量吊环内、外径: 取出游标卡尺, 分别对吊环内外径测量三次, 记录并求出平均值

测量次数	D_1	\bar{D}_1	D_2	\bar{D}_2
1	3.480		3.300	
2	3.490	3.487	3.290	3.291
3	3.492		3.302	

(2) 力敏传感器定标:

1. 调节底座水平, 在力敏传感器上吊上吊盘并调节水平

2. 将 7 片质量均为 0.5g 的砝码依次放入吊盘, 分别记下 $V_0 \sim V_7$ 再依次从吊盘中取出记下 $V'_1 \sim V'_6$

测量次数	砝码质量/g	增量时读数 V/mV	减量时读数 V'/mV	平均值 \bar{V}/mV
1	0.000	130	128.6	129.30
2	0.500	146.5	145.4	145.95
3	1.000	162.9	162.1	162.50
4	1.500	179.5	178.8	179.15
5	2.000	196.1	195.6	195.85
6	2.500	212.6	212.1	212.35
7	3.000	229.02	229.0	229.10
8	3.500	245.6	246.1	245.85

(3) 测定水的表面张力系数: 1. 在力敏传感器上挂上吊环, 调节吊环水平 2. 调节螺旋使吊环下沿浸入水中, 并观

察吊环在液体中拉起时的物理现象, 记录最大读数 V_1 及拉断后读数 V_2 , 重复 6 次.

次数	V_1/mV	V_2/mV	$\Delta V/mV$
1	178.8	123.8	55.0
2	177.0	124.5	52.5
3	176.8	124.3	52.5
4	178.2	124.4	53.8
5	176.5	124.1	52.4
6	176.3	124.6	51.7

(4). 求出液体表面张力系数与标准值 66 mN/m ($T=25^\circ\text{C}$, $\alpha=7.2 \times 10^{-3} \text{ N/m}$) 求相对误差

(5) 关闭电源, 整理实验器材



实验数据处理

(1) 吊环的内外径的平均值

$$\bar{D}_1 = \frac{3.480 + 3.490 + 3.492}{3}$$
$$= 3.487 (\text{cm})$$

$$\bar{D}_2 = \frac{3.300 + 3.290 + 3.302}{3}$$
$$= 3.297 (\text{cm})$$

(2) 力敏传感器的灵敏度 B_0

$$\Delta U = \frac{(\bar{U}_5 - \bar{U}_1) + (\bar{U}_6 - \bar{U}_2) + (\bar{U}_7 - \bar{U}_3) + (\bar{U}_8 - \bar{U}_4)}{4 \times 4}$$

$$= 17.2 (\text{mV})$$

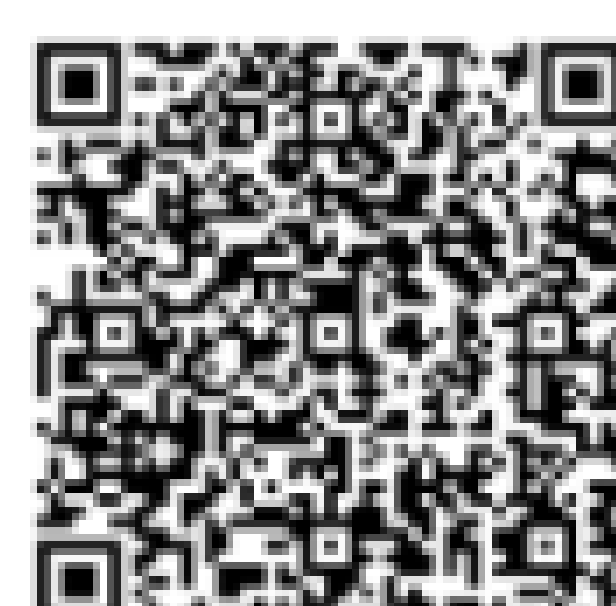
$$= 1.72 \times 10^{-2} (\text{V})$$

$$B = \frac{\Delta U}{\Delta F} = \frac{\Delta U}{\Delta mg} = \frac{53.13 \times 10^{-3}}{\pi (3.487 + 3.297) \times 10^{-2} \times 3.14}$$
$$= \frac{1.72 \times 10^{-2}}{0.5 \times 10 \times 10^{-3}}$$
$$= 3.44 (\text{V/N})$$

(3) 计算液体表面张力及相对误差

$$\alpha = \frac{\Delta U}{\pi (\bar{D}_1 + \bar{D}_2) B} = \frac{53.13 \times 10^{-3}}{\pi (3.487 + 3.297) \times 10^{-2} \times 3.44}$$
$$\approx 7.247 \times 10^{-2} (\text{N/m})$$

$$E = \left| \frac{\Delta \alpha}{\alpha_0} \right| = \left| \frac{7.247 \times 10^{-2} - 7.2 \times 10^{-2}}{7.2 \times 10^{-2}} \right|$$
$$= 0.653\%$$



实验结论

- (1) 学到了传感器的定标方法
- (2) 观察了拉脱法测量液体表面张力的物理现象, 并加深了对物理规律的认识
- (3) 测量了室温下纯净水的~~表面张力系数~~的表面张力系数。 $\alpha = 7.247 \times 10^{-2} \text{ (N/m)}$

实验讨论

实验误差的产生: ① 灵敏度定标时, 吊篮晃动幅度过大使 ΔV 误差过大

② 吊环未被完全清洁, 可能沾有油脂, 影响 α 的测量。

③ 测量吊环直径时未取到最大值, 使内外径测量存在误差。

④ 未使用仪器的峰值保持, 使 F 测量有误差。

⑤ 转动活塞时使液面发生波动

减小误差方法: ① 待吊篮稳定后再读取 V 的值。

② 防止灰尘、油污或其他杂质污染吊环, 并且不能用针直接触碰吊环及液体。

③ 使用正确合理方法测量吊环直径。

④ 开启仪器的峰值保持功能

⑤ 缓慢旋转螺母, 避免液面波动较大

现象分析: 随着拉力增大, 金属环就会拉起一个与液体相连的水柱, 此时拉力达到最大值。

继续增大拉力, 水柱破裂, 拉力减小。

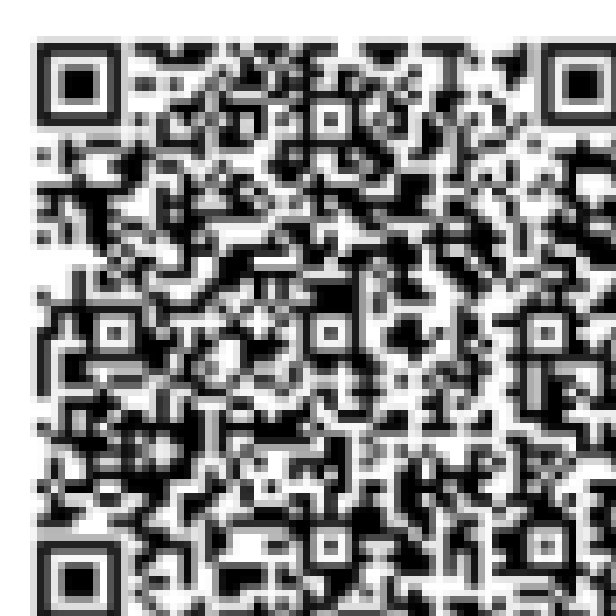
实验改进: ① 可用三根轻质细线替换三根金属丝, 让轻质细线上端打结固定, 以改进金属吊环难以调节平衡的问题。

② 提升吊环时应垂直上升, 以保证吊环受力平衡, 使其合外力为零。

实验及数据处理难点: ① 在计算时, 注意单位换算, 以保证量纲正确。

② 注意调节吊环水平

③ 动作幅度要小, 避免引起较大的振动。



思考题

11) 如果金属环不清洁会给测量带来什么影响? 所测得的表面张力系数会偏大还是偏小?
若金属环不清洁, 则有油污吸附在其表面并带入水中, 留在金属环与液面的交界处, 改变水的表面张力大小, 使表面张力系数产生误差。

测得的表面张力系数偏小。

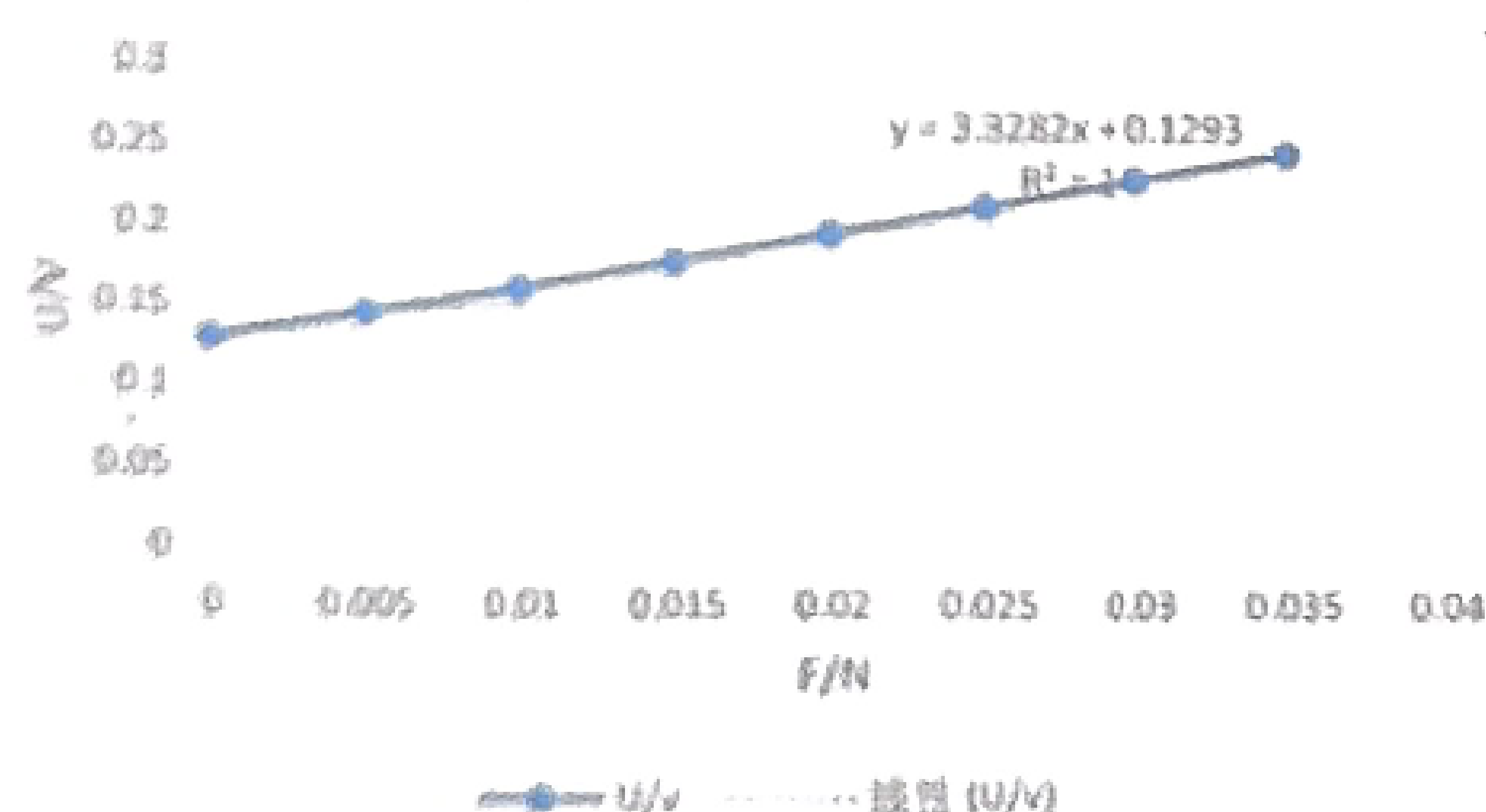
12) 分析水膜即将拉断前数字电压表读数减小的原因。

随着金属环的上升, 其拉起的水柱越来越高, 也越来越陡, 所拉起的水质量减小, 故拉力减小, 即数字电压表读数减小。

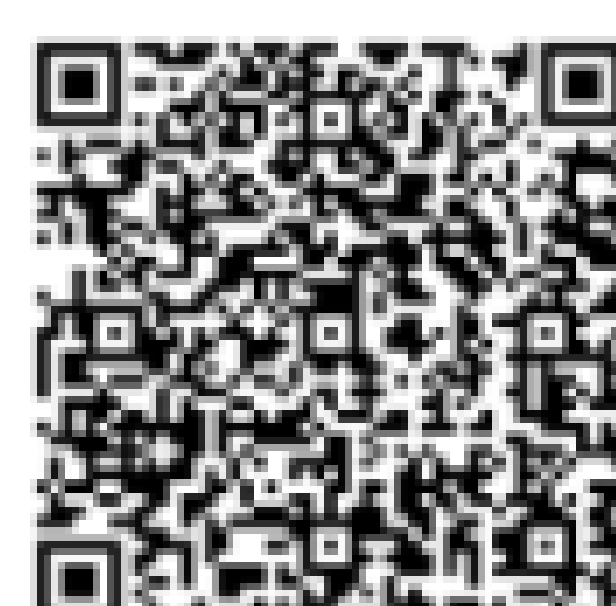
13) 还可以用哪些方法对力敏传感器灵敏度的实验进行处理。

① 最小二乘法 (线性拟合)

U 关于 F 的线性拟合



F/N	U/V
0	0.1293
0.005	0.14595
0.01	0.1625
0.015	0.17915
0.02	0.19585
0.025	0.21235
0.03	0.2291
0.035	0.24585



原始记录

2.1.1 测压力敏感器的灵敏度 (mv)

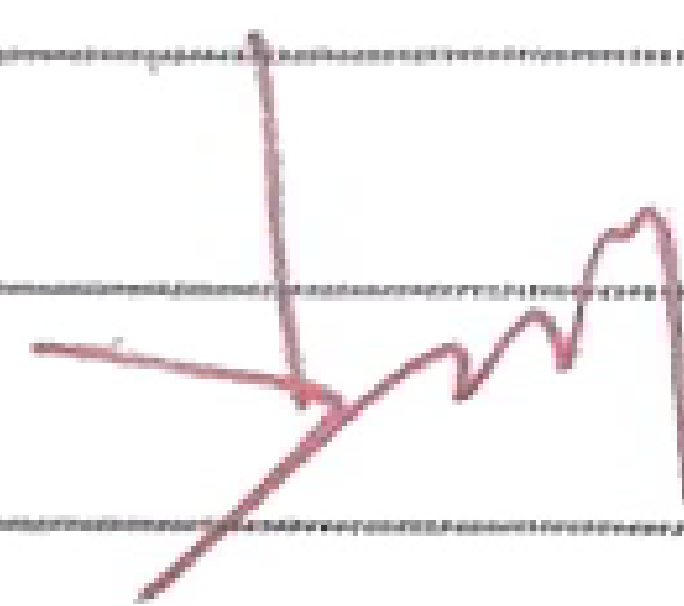
1	0.000	130.0	145.6 128.6
2	0.500	146.5	145.4
3	1.000	162.9	162.1
4	1.500	179.5	178.8
5	2.000	196.1	195.6
6	2.500	212.6	212.1
7	3.000	229.2	229.0
8	3.500	245.6	246.1

2.1.2 测吊环内、外径 (cm)

	D_1	\bar{D}_1	D_2	\bar{D}_2
1	3.480		3.300	
2	3.490	3.487	3.290	3.297
3	3.492		3.302	

2.1.3 测量机的表面张力系数

	U_1/mV	U_2/mV	$\Delta U/mV$
1	178.8	123.8	55.0
2	177.0	124.5	52.5
3	176.8	124.3	52.5
4	178.2	124.4	53.8
5	176.5	124.1	52.4
6	176.3	124.6	51.7



4.6

