

液体表面张力系数的测定实验报告

学生姓名：马文青 学号：5502215035 专业班级：应用物理学 152 班 实验日期：2016.5.26

【实验目的】

- 1、了解水的表面性质，用拉脱法测定室温下水的表面张力系数。
- 2、学会使用焦利氏秤测量微小力的原理和方法。

【实验仪器】

焦利秤，砝码，烧杯，温度计，镊子，水，游标卡尺等。

【实验原理】

设想在液面上作长为 L 的线段，线段两侧液面便有张力为 F_f 的相互作用，其方向与 L 垂直，大小与线段长度 L 成正比。即有：

$$F_f = \gamma L$$

其中 γ 为液体表面张力。

将一表面洁净的长为 L、宽为 d 的矩形金属片（或金属丝）竖直浸入水中，然后慢慢提起一张水膜，当金属片即将脱离液面，即拉起的水膜刚好要破裂时，则有

$$F = mg + F_f$$

式中 F 为把金属片拉出液面时所用的力；mg 为金属片和带起的水膜的总重量；f 为张力。

此时， F_f 与接触面的周围边界 2(L+d)，代入可得

$$\gamma = \frac{F - mg}{2(L + d)}$$

本实验用金属圆环代替金属片，则有

$$\gamma = \frac{F - mg}{\pi(d_1 + d_2)}$$

式中 d_1 、 d_2 分别为圆环的内外直径。

实验表明， γ 与液体种类、纯度、温度和液面上方的气体成分有关，液体温度越高， γ 值越小，液体含杂质越多， γ 值越小，只要上述条件保持一定，则 γ 是一个常量，所以测量 γ 时要记下当时的温度和所用液体的种类及纯度。

【实验步骤】

- 1、安装好仪器，挂好弹簧，调节底板的三个水平调节螺丝，使焦利秤立柱竖直。在主尺顶部挂入吊钩再安装弹簧和配重圆柱体，使小指针被夹在两个配重圆柱中间，配重圆柱体下端通过吊钩勾住砝码托盘。调整小游标的高度使小游标左侧的基准线大致对准指针，锁紧固定小游标的锁紧螺钉，然后调节微调螺丝使指针与镜子框边的刻线重合，当镜子边框上刻线、指针和指针的像重合时（即称为“三线对齐”），读出游标 0 线对应刻度的数值。

2、测量弹簧的劲度系数 k 。一次增加 1.0g 的砝码，调整小游标高度，每次都重新使三线对齐，分别记下游标 0 线所指示的读数；再逐次减少 1.0g 砝码，调整小游标高度，每次都重新使三线对齐，分别记下游标 0 线所指示的读数，取二者平均值，用逐差法求出弹簧的劲度系数。

3、测 $(F-mg)$ 值。将洁净的金属圆环挂在弹簧下端的小钩子上，把装有蒸馏水的烧杯置于焦利平台上，调整平台高度，使金属圆环恰好停在液面为止，调整小游标的高度使三线对齐，记下此时游标 0 线指示读数 s_0 。调节平台为止，使金属片浸入水中，转动平台旋钮使平台缓缓下降，下降过程中金属圆环底部会拉成水膜，在水膜还没有破裂时需调节三线对齐，然后再使平台下降一点，重复刚才的调节，记下此时游标 0 线所指示的读数 s ，算出 $\Delta s = s - s_0$ 的值，即为在表面张力的作用下，弹簧的伸长量，重复测量五次，求出平均值 $\bar{\Delta s}$ ，此时有

$$F - mg = F_f = k \bar{\Delta s}$$

代入 $\gamma = \frac{F - mg}{\pi(d_1 + d_2)}$ 可得

$$\gamma = \frac{k \bar{\Delta s}}{\pi(d_1 + d_2)}$$

4、测出 d_1 、 d_2 的值，代入上式，算出 γ 的值，再记录室温，查出 γ 标准值并做比较。

【数据处理】

1. 用逐差法计算弹簧的倔强系数 K （实验温度：18°C）

砝码数	增重读数 (mm)	减重读数 (mm)	平均数 \bar{L}_i (mm)	$\bar{L}_{i+5} - \bar{L}_i$ (mm)
0.0	227.08	227.02	227.05	14.12
1.0	229.52	229.48	229.50	14.51
2.0	232.62	232.64	232.63	14.44
3.0	235.58	235.48	235.53	14.38
4.0	238.12	238.12	238.12	14.61
5.0	241.26	241.08	241.17	
6.0	244.02	244.00	244.01	
7.0	247.10	247.04	247.07	
8.0	250.00	249.82	249.91	
9.0	252.48	252.98	252.73	

$$\Delta \bar{L} = \frac{1}{5} \sum_{i=0}^4 (\bar{L}_{i+5} - \bar{L}_i) = 14.41 \text{mm}$$

$$K = \frac{5g}{\Delta L} = 3397.67 \text{ g/s}^2$$

$$\sigma_{\Delta L} = \sqrt{\sum (\bar{L}_i - \Delta L_i)^2 / (5-1)} = 0.18 \text{mm}$$

$$\Delta_A = \frac{t_{0.95}}{\sqrt{n}} \sigma_{\Delta L} = 0.21 \text{mm}$$

$$\Delta_B = \frac{\Delta_{\text{仪}}}{1.05} = 0.02 \text{mm}$$

$$\Delta_{\Delta L} = \sqrt{\Delta_A^2 + \Delta_B^2} \approx 0.21 \text{mm}$$

$$\Delta_K = \sqrt{\left(\frac{-5 \text{ g}}{(\Delta L)^2} \Delta_{\Delta L} \right)^2} = 49.51 \times 10^{-3} \text{ N/m}^2$$

2. 计算液体表面张力 f

次数	初始位置 S_0 (mm)	水膜破裂时读数 S_i (mm)	$\Delta S = S_i - S_0$ (mm)	$\bar{\Delta S}$ (mm)
1	207.42	211.08	3.66	3.68
2	207.26	210.84	3.58	
3	207.48	211.12	3.64	
4	207.30	211.00	3.70	
5	207.36	211.16	3.80	

$$\sigma_{\Delta S} = \sqrt{\sum (\bar{\Delta S} - \Delta S_i)^2 / (5-1)} = 0.08 \text{mm}$$

$$\Delta_A = \frac{t_{0.95}}{\sqrt{n}} \sigma_{\Delta S} = 0.11 \text{mm}$$

$$\Delta_B = \frac{\Delta_{\text{仪}}}{1.05} = 0.02 \text{mm}$$

$$\Delta_{\Delta S} = \sqrt{\Delta_A^2 + \Delta_B^2} \approx 0.11 \text{mm}$$

3. 金属环外、内直径的测量(本实验直接给学生结果)

	平均值 (mm)
--	----------

d ₁	34.92
d ₂	33.12

$$\overline{\alpha} = \frac{K\overline{\Delta S}}{\pi(d_1 + d_2)} = 58.49 \times 10^{-3} N/m$$

3. 计算表面张力系数 α 及不确定度

$$\Delta_\alpha = \sqrt{\left(\frac{\overline{\Delta S}}{\pi(d_1 + d_2)} \Delta_K\right)^2 + \left(\frac{K}{\pi(d_1 + d_2)} \Delta_{\Delta S}\right)^2} \approx 1.95 \times 10^{-3} N/m$$

$$\text{所以 } \alpha \approx 1.95 \times 10^{-3} + 58.49 \times 10^{-3} = 60.44 \times 10^{-3} N/m$$

4. 表面张力系数的理论值: $\alpha \approx (75.5 - 0.15t) \times 10^{-3} N/m = 72.8 \times 10^{-3} N/m$

【误差分析】

- 1、实验使用的是自来水而不是蒸馏水，本身就存在实验误差；
- 2、实验装置可能不完全水平；
- 3、读数时指针可能未达到“三线对齐”；
- 4、读数时的视角或装置晃动导致误差；
- 5、圆环底部和水面可能没有完全平行。

【思考题】

1. 用焦利秤测量微小力的依据是什么？

答：胡克定律，在弹簧的允许范围内，弹簧的形变量与弹簧所受到的外力成正比。而焦利秤弹簧的劲度系数小，游标卡尺的最小分度为 0.02mm，易测得微小形变量，进而测得微小力。

2. 金属圆环浸入水中，然后轻轻提起到底面与水面相平时，试分析金属圆环在竖直方向的受力。

答：金属圆环受到重力、细绳对它的拉力和水膜对它的拉力其中拉力也包含了水的表面张力。

3. 分析 $F = mg + F_f$ 式成立的条件，实验中应如何保证这些条件实现？

答：保证整个实验装置完全竖直，金属圆环底面平行于水平面的理想状态。

4. 本实验中为何安排测 $(F - mg)$ ，而不是分别测 F 和 mg ？

答：本实验中的 mg 并不仅仅是金属圆环的重力，而是金属圆环和水膜的重力之和。如果分别测量 F 和 mg ，测出的 mg 与实际值将会存在偏差。

5. 本实验影响测量的主要因素有哪些？这些因素使 α 偏大还是偏小？

答：①金属圆环底面不可能完全与水平面平行，导致上拉金属圆环时，水膜破裂提前，

导致测量结果偏小；

②实验用水为自来水，并非蒸馏水，不可避免含有一些杂质，使 α 值偏小；

③实验时的室内温度较高， α 值偏小。

【原始数据】

		Memo No. _____	Date _____
方法 50221505 应物化 2016.5.26 序号 24			
1.			
硫酸数(9) 0 1 2 3 4 5			
增重读数 L ₁ (mm) 227.08 229.52 232.62 235.58 238.12 241.26			
减重读数 L ₂ (mm) 227.02 229.48 232.44 235.48 238.12 241.08			
平均值 L ₁ = $\frac{L_1 + L_2}{2}$ (mm)			
硫酸数(9) 6 7 8 9			
增重读数 L ₁ (mm) 244.02 247.10 250.00 252.48			
减重读数 L ₂ (mm) 244.00 247.04 249.82 252.98			
平均值 L ₁ = $\frac{L_1 + L_2}{2}$ (mm)			
2.			
测量次数 1 2 3 4 5			
S(mm) 211.08 210.84 211.12 211.00 211.16			
S ₀ (mm) 207.42 207.26 207.48 207.30 207.36			
△ S=S-S ₀ (mm)			
25.26			