

南昌大学物理实验报告

课程名称：普通物理实验（1）

实验名称：液体表面张力的测定

学院：理学院 专业班级：物理学 151 班

学生姓名：黄泽豪 学号：5502115014

实验地点：B608 座位号：14

实验时间：第十二周星期四上午十点开始

【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.
2. 学会使用焦利式秤测量微小力的原理和方法.

【实验原理】

液体表面层内分子相互作用的结果使得液体表面自然收缩, 犹如紧张的弹性薄膜. 由于液面收缩而产生的沿着切线方向的力称为表面张力. 设想在液面上作长为 L 的线段, 线段两侧面便有张力 F_f 相互作用, 其方向与 L 垂直, 大小与线段长度 L 成正比. 即有:

$$F_f = \gamma L \quad (1)$$

比例系数 γ 称为液体表面张力, 其单位为 $N \cdot m^{-1}$.

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, 当金属片将要脱离液面, 即拉起的水膜刚好要破裂时, 则有

$$F = mg + F_f \quad (2)$$

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质量; f 为张力. 此时, F_f 与接触面的周围边界 $2(L+d)$, 代入式 (2) 中可得

$$\gamma = \frac{F - mg}{2(L + d)} \quad (3)$$

本实验用金属圆环代替金属片则有

$$\gamma = \frac{F - mg}{\pi(d_1 + d_2)} \quad (4)$$

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.

【实验仪器】

焦利秤、砝码、烧杯、温度计、镊子、水、游标卡尺等.

【实验内容及步骤】

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钩钩住砝码托盘. 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 . 依次增加 1.0g 砝码, 即将质量为 1.0g, 2.0g, 3.0g, ..., 9.0g 的砝码加在下盘内. 调整小游标的高度每次测量都重新使三线对齐, 分别记下游标 0 线所指示的读数 L_1, L_2, \dots, L_9 ; 再逐次减少 1.0g 砝码, 调整小游标的高度, 每次都重新使之三线对齐, 分别记下游标 0 线所指示的读数 $L_9', L_8', L_7', \dots, L_0'$ 取两者平均值, 用逐差法求出弹簧的劲度系数. 即:

$$\overline{L_i} = \frac{L_i + L_i'}{2} \quad (5)$$

$$\Delta \overline{L} = \frac{1}{5} \sum_{i=0}^4 (\overline{L_{i+5}} + \overline{L_i}) \quad (6)$$

$$k = \frac{5g}{\Delta \overline{L}} \quad (7)$$

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 线指示刻度 s_0 。调节平台位置使金属片浸入水中，转动平台旋钮使平台缓缓下降，下降的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，即为在表面张力作用下，弹簧的伸长量，重复测量五次，求出平均值 $\overline{\Delta s}$ ，此时有

$$F - mg = F_f = k \overline{\Delta s} \quad (8)$$

式中 k 为式 (8) 中所示弹簧的劲度系数，将式 (8) 代入式 (4) 中可得

$$\gamma = \frac{k \overline{\Delta s}}{\pi(d_1 + d_2)} \quad (9)$$

【注意事项】

1. 由于杂质和油污可使水的表面张力显著减小，所以务必使蒸馏水、烧杯、金属片保持洁净。实验前要对装蒸馏水的烧杯、金属圆环进行清洁处理，依次用 NaOH 溶液→酒精→蒸馏水将以上用具清洗干净，烘干后备用。

2. 清洁后的用具，切勿用手触摸，应用镊子取出或存放。

3. 测量 s 时要避免水膜提前破裂，否则实验误差较大，其中引起水膜提前破裂的因素有：桌面的震动、空气的流动、金属圆环底部不水平等。

【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 \overline{L}_i (mm)	$\overline{L}_{i+5} - \overline{L}_i$ (mm)
0	200.00	201.06	200.53	15.81
1	204.10	204.80	204.45	14.98
2	208.06	207.08	207.57	15.48
3	210.10	210.10	210.10	15.45
4	213.36	213.00	213.18	15.45
5	216.30	216.38	216.34	
6	219.44	219.42	219.43	
7	222.70	223.40	223.05	
8	225.48	225.62	225.55	
9	228.64	228.62	228.63	

$$\Delta \overline{L} = \frac{1}{5} \sum_{i=0}^4 (\overline{L}_{i+5} - \overline{L}_i) = 15.43 \text{ mm}$$

$$K = \frac{5g}{\Delta L} = 3172.24/\text{s}^2$$

$$\sigma_{\Delta L} = \sqrt{\sum (\overline{\Delta L} - \Delta L_i)^2 / (5-1)} = 0.30\text{mm}$$

$$\Delta_A = \frac{t_{0.95}}{\sqrt{n}} \sigma_{\Delta L} = 0.36\text{mm}$$

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

$$\Delta_{\Delta L} = \sqrt{\Delta_A^2 + \Delta_B^2} = 0.36\text{mm}$$

$$\Delta_K = \sqrt{\left(\frac{-5\text{ g}}{(\Delta L)^2} \Delta_{\Delta L} \right)^2} = 73.32 \times 10^{-3} \text{ N/m}$$

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)	$\overline{\Delta S}$ (mm)
1	184.18	189.28	5.10	5.06
2	184.44	189.32	4.88	
3	184.30	189.24	4.94	
4	184.16	189.42	5.26	
5	184.26	189.38	5.12	

$$\sigma_{\Delta S} = \sqrt{\sum (\overline{\Delta S} - \Delta S_i)^2 / (5-1)} = 0.15\text{mm}$$

$$\Delta_A = \frac{t_{0.95}}{\sqrt{n}} \sigma_{\Delta S} = 0.18\text{mm}$$

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

$$\Delta_{\Delta S} = \sqrt{\Delta_A^2 + \Delta_B^2} = 0.18\text{mm}$$

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

$$\bar{\alpha} = \frac{K\overline{\Delta S}}{\pi(d_1 + d_2)} = 75.20 \times 10^{-3} \text{ N/m}$$

4. 计算表面张力系数 α 及不确定度

$$\Delta_{\alpha} = \sqrt{\left(\frac{\overline{\Delta S}}{\pi(d_1 + d_2)} \Delta_K\right)^2 + \left(\frac{K}{\pi(d_1 + d_2)} \Delta_{\Delta S}\right)^2} = 3.23 \times 10^{-3} \text{ N/m}$$

4. 表 面 张 力 系 数 的 理 论 值 :

$$\alpha \approx (75.5 - 0.15t) \times 10^{-3} \text{ N/m} = (75.50 - 2.70) \times 10^{-3} \text{ N/m}$$

【误差分析】

1. 金属圆环底面无法完全与水平面平行, 导致上拉金属圆环时, 水膜不是同时破裂, 导致测量结果偏小;
2. 实验装置不能做到完全竖直, 使测量结果不准确;
3. 读数时, 系统存在一定的晃动, 使测量结果不准确;
4. 读数时没有三线对齐;
5. 指针不能接触游标;
6. 水中可能含有杂质;

【思考题】

1. 用焦利秤称量微小力的依据是什么?

答: 胡克定律. 在一定范围内, 弹簧的形变量与弹簧所受到的外力成正比. 弹簧的劲度系数很小, 同时游标卡尺最小分度 0.02mm, 可测得弹簧的微小形变量.

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 (包含水面张力)。

3. 分析 (2) 式成立的条件, 实验中应如何保证这些条件实现?

答: 保证整个实验装置竖直, 金属圆环的底面平行于水平面.

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

答: 因为本实验中的 mg 并不是金属圆环的重力, 而是金属圆环和水膜的重力之和, 假如分别测量 F 和 mg , 测出的 mg 与实际值将存在偏差.

5. 本实验影响测量的主要因素有哪些? 这些因素使 γ 偏大还是偏小?

答:

- (1) 金属圆环底面无法完全与水平面平行, 导致上拉金属圆环时, 水膜不是同时破裂, 导致测量结果偏小;
- (2) 水中含有一些杂质, 使 γ 值减小;
- (3) 温度的升高, 使 γ 值减小;

【实验结果分析与小结】

1. 本次实验再次采用逐差法减小系统误差. 在本学期的实验中, 采用了逐差法的实验有: 金属丝杨氏模量的测定、线胀系数、声速测量、等厚干涉等. 在测量同一物体不同位置的某一物理量时, 逐差法能够很好地减小系统误差.

2. 调整液面缓缓下降时, 游标卡尺上的读数先增大后减小. 这是因为当水膜完整时, 随着金属圆环相对液面的升高, F_f 越来越大, 游标卡尺的读数也越来越大; 当张力达到最大值后, 水膜的厚度逐渐减小, 水膜即将破裂, F_f 开始减小, 游标卡尺的读数也开始减小.

【原始数据】(见下页)

XI 液体表面张力的测定



南昌大学实验报告

学生姓名: 黄译豪 学号: 5502115014 专业班级: 物理151

实验类型: ☐验证 ☐综合 ☐设计 ☐创新 实验日期: _____ 实验成绩: _____

砝码质量	增重读数	减重读数
0.0g	200.00	201.06
1.0g	204.10	204.80
2.0g	208.06	207.08
3.0g	210.10	210.10
4.0g	213.36	213.00
5.0g	216.30	216.38
6.0g	219.44	219.42
7.0g	222.70	223.40
8.0g	225.48	225.62
9.0g	228.64	228.62

Tot

次数	S	S ₀
1	189.28	184.18
2	189.32	184.44
3	189.24	184.30
4	189.42	184.16
5	189.38	184.26

25.19