

浙江大学

物理实验报告

实验名称: 液体表面张力系数测定

实验桌号: 15

指导教师: 邱东江

班级: _____

姓名: _____

学号: _____

实验日期: 2025 年 11 月 13 日 星期 四 下午

一、预习报告 (10 分)

1. 实验综述 (5 分)

(自述实验现象、实验原理和实验方法，包括必要的光路图、电路图、公式等。不超过 500 字。)

本实验旨在使用拉脱法测定液体表面张力系数。

1. 液体表面张力系数

液体内部分子受周围分子作用均匀，但对于液体表面的分子，其受空气中分子的引力远小于受下方液体分子的引力，因此，该力会使液体表面收缩，这种力称为表面张力。

实验表明，液体表面张力与接触面边界长度成正比，即 $f = \alpha L$ ，称比例系数 α 为表面张力系数。

2. 实验测量原理

如图 1，将一洁净的圆筒形吊环吊入待测液中，缓慢降低液面，吊环将带起一层液膜，此时液膜处液体表面张力与液膜相切，与竖直方向成一小角度 φ ，称为浸润角（或接触角）。当液面继续降低时， φ 逐渐减小直至接近 0，则有：

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

其中 m 为吊环质量， $m_{\text{液}}$ 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。因表面张力大小与接触面边界长度成正比，则有：

$$f_{\text{内}} + f_{\text{外}} = \alpha \pi (D_{\text{内}} + D_{\text{外}})$$

代入解得：

$$\alpha = \frac{F - (m + m_{\text{液}})g}{\pi (D_{\text{内}} + D_{\text{外}})}$$

由于金属膜很薄，被拉起的液膜也很薄， $m_{\text{液}}$ 很小可以忽略，于是公式简化为：

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

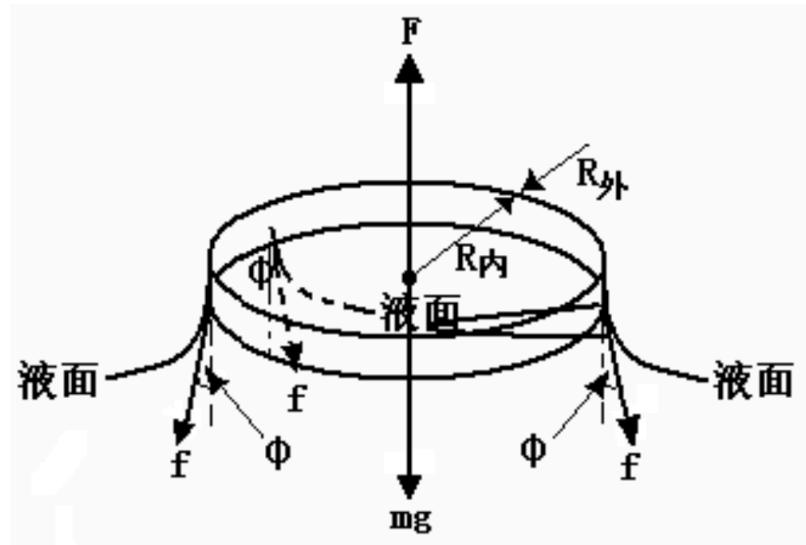


图 1

3. 实验方法

本实验的核心部分是准确测定 $F - mg$, 即圆筒形吊环所受到向下的表面张力。本实验们使用 FB326 型液体的表面张力系数测定仪测定这个力。

实验前将仪器开机预热 15 分钟, 清洗有机玻璃器皿和吊环, 在有机玻璃器皿内放入被测液体, 将砝码盘挂在力敏传感器的钩上。预热结束后, 对力敏传感器定标, 在加砝码前应首先读取电子秤的初读数 V_0 , 然后每加一个 $m_0 = 500.00mg$ 砝码, 读取一个对应数据(mV), 记录到表格中, 注意安放砝码时动作要应尽量轻巧。用逐差法求力敏传感器的转换系数 $K = \frac{m_0 g}{\Delta V}$ (N/mV)。

换吊环前应先测定吊环的内外直径, 然后挂上吊环, 读取一个对应数据(mV), 逆时针转动活塞调节旋钮, 使液体液面上升, 当环下沿接近液面时, 仔细调节吊环的悬挂线, 使吊环水平, 然后把吊环部分浸入液体中, 将仪器功能转为峰值测量, 接着缓慢地顺时针转动活塞调节旋钮, 这时液面逐渐往下降。当吊环拉断液柱的一瞬间数字电压表显示拉力峰值 V_1 并自动保持该数据。拉断后, 将电压表恢复随机测量功能, 静止后其读数值为 V_2 。连续做 5 次, 求平均值。那么表面张力系数:

$$\alpha = \frac{f_{\text{内}} + f_{\text{外}}}{L} = \frac{(\bar{V}_1 - \bar{V}_2)K}{\pi(D_{\text{内}} + D_{\text{外}})}$$

2. 实验重点 (3 分)

(简述本实验的学习重点, 不超过 100 字。)

本实验的学习重点在于液体表面张力的性质及其测量原理, 能够正确利用测量仪以及其他实验仪器准确测量吊环内外径、拉脱峰值电压, 熟练运用表面张力系数的计算公式, 掌握不确定度的分析方法。

3. 实验难点 (2 分)

(简述本实验的实现难点, 不超过 100 字。)

本实验的难点在于高精度仪器 FB326 型液体表面张力系数测定仪的调试和使用, 以及使用标准砝码对测量仪进行定标的方法。同时, 数据处理和不确定度的分析也是该实验的难点。

二、原始数据 (20 分)

(将有老师签名的“自备数据记录草稿纸”的扫描或手机拍摄图粘贴在下方, 完整保留姓名, 学号, 教师签字和日期。)

三、结果与分析 (60 分)

1. 数据处理与结果 (30 分)

(列出数据表格、选择适合的数据处理方法、写出测量或计算结果。)

1. 用逐差法求仪器的转换系数 $K(N/mV)$

记录砝码盘等作为初始读数 $V_0 = 28.8mV$, 依次增加再减少 $m = 500.00mg$ 的砝码, 记录数据如下表:

砝码质量($10^{-6}kg$)	增重读数 $V'_i(mV)$	减重读数 $V''_i(mV)$	$V_i = \frac{V'_i + V''_i}{2}(mV)$
0.00	28.8	28.3	28.55
500.00	32.6	32.1	32.35
1000.00	36.4	36.0	36.20
1500.00	40.2	39.9	40.05
2000.00	44.0	44.0	44.00
2500.00	47.8	47.8	47.80
3000.00	51.8	51.7	51.75
3500.00	55.6	55.6	55.60

为避免中间数据四舍五入造成的精度损失，在计算时保留到小数点后两位。

计算等间距逐差 $\delta V_i(mV)$:

i	1	2	3	4
$\delta V_i = V_{i+4} - V_i$	15.45	15.45	15.55	15.55

计算每 $m = 500.00mg$ 对应电子秤读数:

$$\bar{\delta}V = \frac{1}{16}(\delta V_1 + \delta V_2 + \delta V_3 + \delta V_4) = 3.875mV$$

取 $g = 9.793m/s^2$ ，计算转换系数:

$$K = \frac{mg}{\delta V} = 1.263 \times 10^{-3} N/mV$$

2. 拉脱法求拉力对应的电子秤读数

记录水温 $T_0 = 20.6^\circ C$ ，电子秤初值 $V_0 = 35.4mV$ 。

记录测量结果如下表:

测量次数	拉脱时最大读数 $V_1(mV)$	吊环读数 $V_2(mV)$	表面张力对应读数 $V_i = V_{1i} - V_{2i}(mV)$
1	48.2	35.5	12.7
2	47.6	35.3	12.3
3	47.8	35.4	12.4
4	47.4	35.1	12.3
5	47.2	35.0	12.2

计算 V 平均值:

$$\bar{V} = \frac{1}{5}(V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5) = 12.38mV$$

3. 吊环内外径测量

使用游标卡尺测量吊环内外直径，得到数据如下表:

测量次数 <i>i</i>	1	2	3	4	5	6
$D_{外i}(mm)$	35.00	34.80	34.90	34.80	34.90	34.90
$D_{内i}(mm)$	33.40	33.50	33.50	33.40	33.50	33.40

计算吊环内外直径平均值:

$$\bar{D}_{外} = \sum_{i=1}^6 D_{外i} = 34.88mm, \bar{D}_{内} = \sum_{i=1}^6 D_{内i} = 33.45mm$$

计算接触面边界长度:

$$L = \pi(\bar{D}_{外} + \bar{D}_{内}) = 214.68mm$$

2. 误差分析 (20 分)

(运用测量误差、相对误差或不确定度等分析实验结果, 写出完整的结果表达式, 并分析误差原因。)

(1) 实验结果分析

按实验要求忽略砝码不确定度的影响。

力传感器 $\Delta_{仪}V = 0.1mV$, 游标卡尺 $\Delta_{仪}D = 0.02mm$ 。

1. 用逐差法求仪器的转换系数 $K(N/mV)$

计算 δVA 类不确定度:

$$u_A = \sqrt{\frac{1}{4 \times 3} \times \sum_{i=1}^4 \left(\frac{\delta V_i}{4} - \bar{\delta V} \right)^2} = 7.22 \times 10^{-3} mV$$

B 类不确定度:

$$u_B = \frac{\Delta_{仪}V}{\sqrt{3}} = 5.77 \times 10^{-2} mV$$

合成不确定度:

$$u_{\delta V} = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 0.058 mV$$

计算转换系数 K 的不确定度:

$$u_K = K \times \frac{u_{\delta V}}{\delta V} = 0.019 \times 10^{-3} N/mV$$

转换系数 K 最终结果:

$$K = (1.263 \pm 0.019) \times 10^{-3} N/mV$$

2. 拉脱法求拉力对应的电子秤读数

计算 VA 类不确定度:

$$u_A = \sqrt{\frac{1}{5 \times 4} \times \sum_{i=1}^5 (V_i - \bar{V})^2} = 0.086 mV$$

B 类不确定度:

$$u_B = \frac{\Delta_{仪}V}{\sqrt{3}} = 5.77 \times 10^{-2} mV$$

合成不确定度:

$$u_V = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 0.10 mV$$

V 最终结果:

$$\bar{V} = (12.38 \pm 0.10)mV$$

3. 吊环内外径测量

计算 $D_{外}$ A类不确定度:

$$u_{A1} = \sqrt{\frac{1}{6 \times 5} \times \sum_{i=1}^6 (D_{外i} - \bar{D}_{外})^2} = 0.031mm$$

计算 $D_{内}$ A类不确定度:

$$u_{A2} = \sqrt{\frac{1}{6 \times 5} \times \sum_{i=1}^6 (D_{内i} - \bar{D}_{内})^2} = 0.022mm$$

B类不确定度:

$$u_B = \frac{\Delta_{\text{估}} D}{\sqrt{3}} = 0.012mm$$

计算 L 不确定度:

$$u_L = \pi \sqrt{u_{D_{内}}^2 + u_{D_{外}}^2} = \pi \sqrt{u_{A_1}^2 + u_{A_2}^2 + 2u_B^2} = 0.13mm$$

L 最终结果:

$$\bar{L} = (214.68 \pm 0.13)mm$$

4. 表面张力系数计算

$$\alpha = \frac{K \bar{V}}{\bar{L}} = 7.283 \times 10^{-2} N/m$$

计算表面张力系数不确定度:

$$u_\alpha = \alpha \sqrt{\left(\frac{u_K}{K}\right)^2 + \left(\frac{u_V}{V}\right)^2 + \left(\frac{u_L}{L}\right)^2} = 0.124 \times 10^{-2} N/m$$

表面张力系数 α 最终结果:

$$\alpha = \frac{K \bar{V}}{\bar{L}} = (7.283 \pm 0.124) \times 10^{-2} N/m$$

查询得到纯水在 $20^\circ C$ 的表面张力系数 $\alpha_0 = 7.275 \times 10^{-2} N/m$, 可知实验结果数量级正确, 计算相对误差:

$$E = \left| \frac{\alpha - \alpha_0}{\alpha_0} \right| \times 100\% = 0.11\%$$

(2) 误差可能的原因

1. 用于力敏传感器定标的标准砝码可能存在质量偏差
2. 游标卡尺的刻度上有锈迹, 影响读数, 可能导致误差
3. 吊环内外径测量不一定能精确找到直径位置, 可能导致误差
4. 吊环悬挂时无法做到完全水平, 可能会引入一定的误差
5. 吊环存在轻微晃动, 电压读数不稳定, 可能导致读数误差

3. 实验探讨 (10 分)

(对实验内容、现象和过程的小结, 不超过 100 字。)

本次实验学习了解了 FB326 型表面张力系数测定仪的基本结构和使用方法，学会了使用标准砝码定标测量仪，掌握了拉脱法测量液体表面张力系数的方法。实验中可以明显看到吊环带起一层液膜，最终计算结果较为准确，实验过程顺利。

四、思考题（10 分）

（解答教材或讲义或老师布置的思考题，请先写题干，再作答。）

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

如果过早读数，会导致水膜未完全拉伸至临界破裂状态，表面张力与竖直方向仍存在一定夹角，使得测得的 F 偏小，从而导致表面张力系数偏小。

2. 圆环或玻璃容器不清洁， α 会有什么变化？

圆环或玻璃容器不清洁，会破坏水膜的完整性和连续性，使得有效边界减小且水膜容易提前破裂，导致测量的 F 偏小，从而导致表面张力系数 α 偏小。

• 注意事项：

1. 用 PDF 格式上传“实验报告”，文件名：学生姓名+学号+实验名称+周次。
2. “实验报告”必须递交在“学在浙大”本课程内对应实验项目的“作业”模块内。
3. “实验报告”成绩必须在“浙江大学物理实验教学中心网站” – “选课系统”内查询。
4. 教学评价必须在“浙江大学物理实验教学中心网站” – “选课系统”内进行，学生必须进行教学评价，才能看到实验报告成绩，教学评价须在本次实验结束后 3 天内进行。