

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

浙江大学物理实验教学中心

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：

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

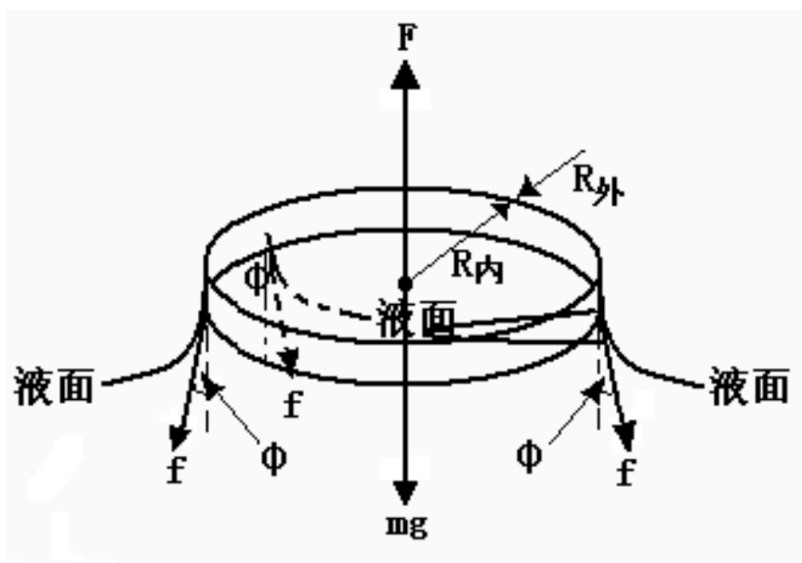


图 1

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：

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

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 \bar{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：

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

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：

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

计算转换系数 K 的不确定度：

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

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：

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

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：

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

V最终结果:

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

3. 吊环内外径测量

计算 $D_{\text{外}}$ A类不确定度:

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

计算 $D_{\text{内}}$ A类不确定度:

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

B类不确定度:

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

计算 L 不确定度:

$$u_L = \pi \sqrt{u_{D_{\text{内}}}^2 + u_{D_{\text{外}}}^2} = \pi \sqrt{u_{A1}^2 + u_{A2}^2 + 2u_B^2} = 0.13mm$$

L 最终结果:

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

4. 表面张力系数计算

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

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:

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

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。