

# 表面张力实验报告

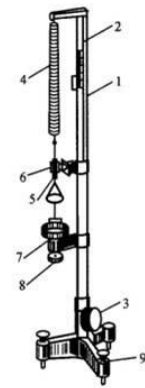
廖子文 PB21030837 1423 教室 1 号

2022 年 4 月 15 日

## 实验器材

焦利秤的构造如图所示，它实际上是一种用于测微小力的精细弹簧秤。一般的弹簧秤都是弹簧秤上端固定，在下端加负载后向下伸长，而焦利秤与之相反，它是控制弹簧下端的位置保持一定，加负载后向上拉动弹簧确定伸长值。

三线对齐为了保证弹簧下端的位置是固定的，必须三线对齐，即玻璃圆筒  $E$  上的刻线、小平面镜上的刻线、 $E$  上的刻线在小平面镜中的像，三者始终重合。在力  $F$  作用下弹簧伸长  $\Delta l$ ，根据虎克定律可知，在弹性限度内  $F = k\Delta l$ ，将已知重量的砝码加在砝码盘中，测出弹簧的伸长量，由上式即可计算该弹簧的  $k$  值，由  $k$  值就可测外力  $F$ 。



焦利氏秤装置图

1—秤框；2—升降金属杆；3—升降钮；4—锥形弹簧；5—带小镜子的挂钩；6—平衡指示玻璃管；7—平台；8—平台调节螺丝；9—底脚螺丝

图 1. 密立根油滴仪

金属丝缓慢拉出水面的过程中，金属丝框下面将带起一水膜，当水膜刚被拉断时，诸力的平衡条件是

$$F = mg + 2F'$$

而

$$F' = \sigma l$$

得到

$$\sigma = \frac{F - mg}{2l}$$

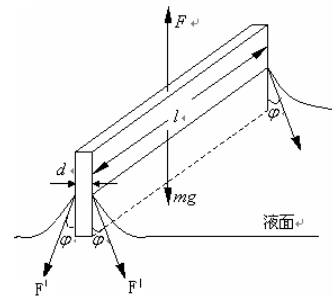


图 2. 金属丝

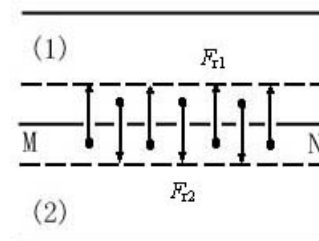
## 实验原理

液体表面层（其厚度等于分子的作用半径）内的分子所处的环境跟液体内部的分子是不同的。

表面层内的分子合力垂直于液面并指向液体内部，所以分子有从液面挤入液体内部的倾向，并使液体表面自然收缩，想象在液面上划一条直线，表面张力就表现为直线两旁的液膜以一定的拉力相互作用。拉力  $F$  存在于表面层，方向恒与直线垂直，大小与直线的长度  $l$  成正比，即

$$F = \sigma l$$

式中  $\sigma$  称为表面张力系数，它的大小与液体的成分、纯度、浓度以及温度有关。



## 实验内容

### 1. 确定焦利氏秤上锥形弹簧的劲度系数（基础）

- (1) 把锥形弹簧，带小镜子的挂钩和小砝码盘依次安装到秤框内的金属杆上。调节支架底座的底脚螺丝，使秤框竖直，小镜子应正好位于玻璃管中间，挂钩上下运动时不致与管摩擦。
- (2) 逐次在砝码盘内放入砝码，每次增量 0.5g 的砝码，从 0.5g ~ 5g 范围内增加。每次操作都要调节升降钮，做到三线对齐。记录升降杆的位置读数。用最小二乘法和作图法计算出弹簧的劲度系数  $k$ 。

### 2. 用金属圈测量自来水的表面张力系数（基础）

- (1) 用游标卡尺测量金属圈的直径  $d$ ；当液膜刚要破裂时，记下金属杆的读数。测量 5 次，取平均，计算自来水的表面张力系数和不确定度。
- (2) 取下砝码，在砝码盘下挂上金属圈，仍保持三线对齐，记下此时升降杆读数  $l_0$
- (3) 把盛有自来水的烧杯放在焦利氏秤台上，调节平台的微调螺丝和升降钮，使金属圈浸入水面以下
- (4) 缓慢地旋转平台微调螺丝和升降钮，注意烧杯下降和金属杆上升时，始终保持三线对齐。当液膜刚要破裂时，记下金属杆的读数。测量 5 次，取平均，计算自来水的表面张力系数和不确定度。

### 3. 用金属丝测量体积分数为 1‰ 洗洁精的表面张力系数（基础）

- (1) 用游标卡尺测量金属丝两脚之间的距离  $s$
- (2) 取下砝码，在砝码盘下挂上金属丝，仍保持三线对齐，记下此时升降杆读数  $l_0$ ，然后重复上述 2 中的步骤 (3) 和 (4) 步骤即可

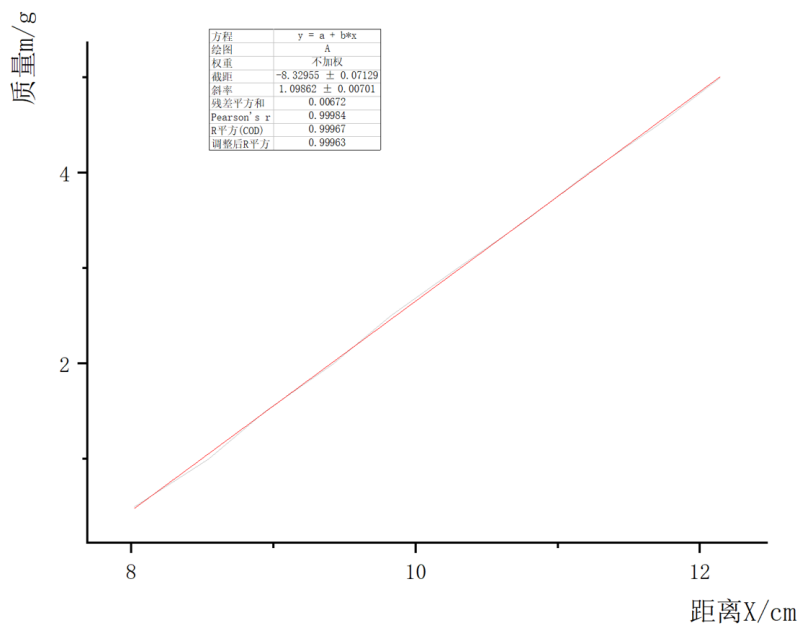
### 4. 运用金属丝测量不同浓度的洗洁精的表面张力系数（至少 3 个不同浓度），得出浓度与表面张力的关系曲线（提升）

## 数据处理与不确定度分析

### 弹簧劲度系数的测量

距离 $X/cm$	8.02	8.54	8.94	9.42	9.82	10.29	10.77	11.21	11.7	12.14
质量 $m/g$	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0

#### 最小二乘法



画图法见数据纸

采用最小二乘法的拟合结果，取  $g = 9.793 \text{ m/s}^{-2}$ ，则弹簧的劲度系数为

$$k = \frac{mg}{l} = (1.075 \pm 0.068) \text{ N/m}$$

### 水表面张力的测量

#### 金属圈直径 $d$ 的测量

金属圈直径 $d/cm$		
4.00	3.95	4.02

$$\bar{d} = \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3} = 3.99 \text{ cm}$$

由不确定度合成公式 (钢尺允差为 0.02cm)

$$\sigma_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 (d_i - \bar{d})^2}{2}} = 0.036 \text{ cm}$$

# 表面张力实验报告

廖子文 PB21030837 1423 教室 1号 2022年4月15日

A 类不确定度为

$$u_A = \frac{\sigma_d}{\sqrt{3}} = 0.0208 \text{ cm}$$

B 类不确定度为

$$u_B = K_p \frac{\Delta_B}{C} = 1.960 \times \frac{0.02}{3} = 0.013 \text{ cm}$$

金属圈直径的不确定度为

$$U_{d,0.95} = \sqrt{(t_{0.95}u_A)^2 + u_B^2} = 0.0491 \text{ cm}, P = 0.95$$

## 弹簧伸长量的测量

液体	组件	初始距离 $l_0/\text{cm}$	破裂时的距离 $l/\text{cm}$				
自来水	金属圈	7.52	9.07	9.13	9.26	9.19	9.14

$$\overline{\Delta l} = \frac{\sum_{i=1}^5 l_i - 5l_0}{5} = 1.638 \text{ cm}$$

$$\sigma_{\Delta l} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (\Delta l_i - \overline{\Delta l})^2}{4}} = 0.071 \text{ cm}$$

由不确定度合成公式（弹簧长度允差为 0.01cm）A 类不确定度为

$$u_A = \frac{\sigma_{\Delta l}}{\sqrt{5}} = 0.0317 \text{ cm}$$

B 类不确定度为

$$u_B = K_p \frac{\Delta_B}{C} = 1.960 \times \frac{0.01}{3} = 0.0065 \text{ cm}$$

弹簧伸长量的不确定度为

$$U_{\Delta l,0.95} = \sqrt{(t_{0.95}u_A)^2 + u_B^2} = 0.0647 \text{ cm}, P = 0.95$$

自来水的表面张力系数为

$$\sigma = \frac{k\overline{\Delta l}}{2\pi\overline{d}} = 0.0701 \text{ N/m}$$

由间接不确定度合成公式

$$\frac{U_{\sigma,0.95}}{\sigma} = \frac{\Delta k}{k} + \frac{U_{\Delta l,0.95}}{\overline{\Delta l}} + \frac{U_{d,0.95}}{\overline{d}} = 0.07094$$

$$U_{\sigma,0.95} = \frac{U_{\sigma,0.95}}{\sigma} \times \sigma = 0.0037 \text{ N/m}, P = 0.95$$

综上，自来水的表面张力系数为

$$\sigma = (0.0701 \pm 0.0037) \text{ N/m}$$

## 洗洁精表面张力系数的测量

### 金属丝距离的测量

金属丝距离 $s/cm$		
4.25	4.23	4.24

$$\bar{s} = \frac{s_1 + s_2 + s_3}{3} = 4.24 \text{ cm}$$

### 弹簧伸长量的测量

液体	组件	初始距离 $l_0/cm$	破裂时的距离 $l/cm$				
洗洁精	金属丝	7.67	7.81	7.89	7.9	7.85	7.85

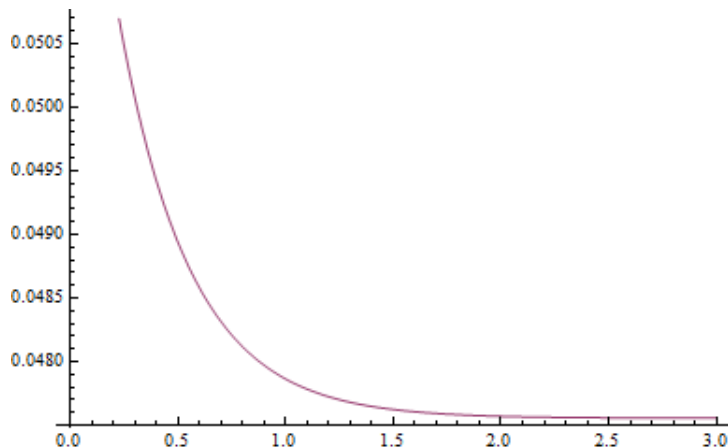
$$\overline{\Delta l} = \frac{\sum_{i=1}^5 l_i - 5l_0}{5} = 0.19 \text{ cm}$$

$$\sigma = \frac{k\overline{\Delta l}}{2\bar{s}} = 0.0241 \text{ N/m}$$

### 自配浓度的洗洁精溶液表面张力系数测量

组件	浓度	初始距离 $l_0/cm$	破裂时的距离 $l/cm$			$\overline{\Delta l}/cm$	$\sigma/N \cdot m^{-1}$
金属丝	5.0‰	7.37	7.87	7.95	7.95	0.553	0.0688
	1.0%	7.50	7.89	7.91	7.89	0.397	0.0493
	1.5%	7.57	7.90	7.90	7.92	0.337	0.0426
	3.0%	7.50	7.90	7.79	7.85	0.347	0.0430

### 洗洁精溶液的表面张力系数与浓度的关系



## 思考题

1、 焦利氏秤法测定液体的表面张力有什么优点？

答： (1) 焦利氏称在测量过程中下端保持在三线对齐的位置上，通过上端的位移来称量，可以迅速测出液膜破裂时的弹簧长度

(2) 锥形弹簧可以克服弹簧自重的影响，保持弹簧均匀伸长

(3) 锥形弹簧灵敏度高，劲度系数小，测量精度高

2、 焦利氏秤的弹簧为什么做成锥形？

答： 为了消除弹簧自重的影响，使弹簧均匀伸长

3、 实验中应注意哪些地方，才能减小误差？

答： (1) 实验前先调节底脚螺丝，调节焦利氏称水平，防止平面镜升降过程中与玻璃管摩擦

(2) 放置砝码等托盘稳定后再读数

(3) 测量清洁精的表面张力系数前将其混合均匀，防止洗洁精沉降导致溶液各部位浓度不同，表面洗洁精浓度低于平均浓度

(4) 实验用的金属圈和金属丝应当尽量压平，防止表面张力有非竖直分量，使表面张力系数结果偏小

(5) 金属圈或金属丝尽量调整到与液体表面平行

(6) 保持操作前后观察的视角不变，防止三线合一对应的位置发生改变

(7) 缓慢地同时转动平台的高度调节螺母和升降钮，始终保持三线合一