

实 验 报 告

11 系 20 级 3 班

郭耸霄 PB20111712

2021 年 5 月 14 日

表面张力系数测定实验报告

1 实验目的

- 1、着重学习焦利氏秤独特的设计原理，并用它测量液体的表面张力系数。
- 2、了解表面张力的意义，即表面张力描述了液体表层附近分子力的宏观表现。
- 3、学会用画图法求弹簧秤的劲度系数。

2 实验原理

2.1 表面张力

液体表层内分子力的宏观表现，使液面具有收缩的趋势。想象在液面上划一条线，表面张力就表现为直线两侧的液体以一定的拉力相互作用。这种张力垂直于该直线且与线的长度成正比，比例系数称为表面张力系数。

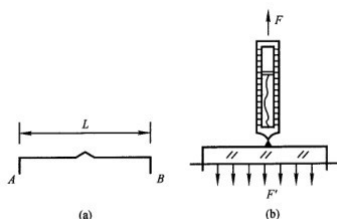


图 5.2.1-1 表面张力示意图

把金属丝 AB 弯成如图 5.2.1-1 所示的形状，并将其悬挂在灵敏的测力计上，然后把它浸到液体中。当缓缓提起测力计时，金属丝就会拉出一层与液体相连的液膜，由于表面张力的作用，测力计的读数逐渐达到一最大值 F （超过此值，膜即破裂）。则 F 应当是金属丝重力 mg 与薄膜拉引金属丝的表面张力之和。由于液膜有两个表面，若每个表面的力为 F' ，则由

$$F = mg + 2F',$$
$$F' = \frac{F - mg}{2} = \frac{k \times \Delta h}{2}.$$

显然，表面张力 F' 是存在于液体表面上任何一条分界线两侧间的液体的相互作用拉力，其方向沿着液体表面，且垂直于该分界线。表面张力 F' 的大小与分界线的长度成正比。即

$$F' = \sigma l,$$

得

$$\sigma = \frac{(l - l_0)k}{2s}.$$

式中 σ 称为表面张力系数，单位是 N/m 。表面张力系数与液体的性质有关，密度小而易挥发的液体 σ 小，反之 σ 较大；表面张力系数还与杂质和温度有关，液体中掺入某些杂质可以增加 σ ，而掺入另一些杂质可能会减小 σ ；温度升高，表面张力系数 σ 将降低。

实 验 报 告

11 系 20 级 3 班

郭耸霄 PB20111712

2021 年 5 月 14 日

2.2 焦利氏秤

焦利氏秤由固定在底座上的秤框、可升降的金属杆和锥形弹簧秤等部分组成，如图 5.2.1-2 所示。在秤框上固定有下部可调节的载物平台、作为平衡参考点用的玻璃管和作弹簧伸长量读数用的游标；升降杆位于秤框内部，其上部有刻度，用以读出高度，框顶端带有螺旋，供固定锥形弹簧秤用，杆的上升和下降由位于秤框下端的升降钮控制；锥形弹簧秤由锥形弹簧、带小镜子的金属挂钩及砝码盘组成。带镜子的挂钩从平衡指示玻璃管内穿过，且不与玻璃管相碰。

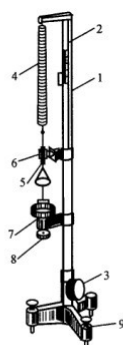


图 5.2.1-2 焦利氏秤装置图
1—秤框；2—升降金属杆；3—升降钮；4—
锥形弹簧；5—带小镜子的挂钩；6—平衡指
示玻璃管；7—平台；8—平台调节螺丝；9—
底脚螺丝

焦利氏秤和普通的弹簧秤有所不同：普通的弹簧秤是固定上端，通过下端移动的距离来称衡，而焦利氏秤则是在测量过程中保持下端固定在某一位置，靠上端的位移大小来称衡。其次，为了克服因弹簧自重引起弹性系数的变化，把弹簧做成锥形。由于焦利氏秤的特点，在使用中应保持让小镜中的指示横线、平衡指示玻璃管上的刻度线及其在小镜中的像三者对齐，简称为三线对齐，作为弹簧下端的固定起算点。

3 实验器材

焦利氏秤、带镜子的挂钩、小砝码盘、砝码、直尺、镊子、洗洁精、自来水、烧杯、注射器等。

实 验 报 告

11 系 20 级 3 班

郭耸霄 PB20111712

2021 年 5 月 14 日

4 测量记录

表 1: 劲度系数测量原始数据

质量 m/g	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
距离 x/cm	4.14	4.52	4.90	5.31	5.70	6.10	6.55	6.91	7.34	7.74

表 2: 测量组件尺寸测量原始数据

金属丝两脚间距离 s/cm	5.10	5.05	5.05
金属圈直径 d/cm	3.50	3.55	3.45

表 3: 自来水、给定浓度的洗洁精的表面张力系数测量原始数据

测量液体	测量组件	初始距离 l_0/cm	破裂时的距离 l/cm				
自来水	金属圈	4.00	4.95	4.90	4.89	4.93	4.98
洗洁精	金属丝	3.90	4.11	4.10	4.14	4.10	4.10

表 4: 不同浓度的洗洁精的表面张力系数测量原始数据

测量液体	测量组件	初始距离 l_0/cm	破裂时的距离 l/cm	4.20	4.20	4.16	4.16
不同浓度的洗洁精	金属丝	3.90	浓度 (体积分数)	0.040	0.016	0.013	0.008

5 分析与讨论

5.1 数据处理

5.1.1 焦利氏弹簧的劲度系数

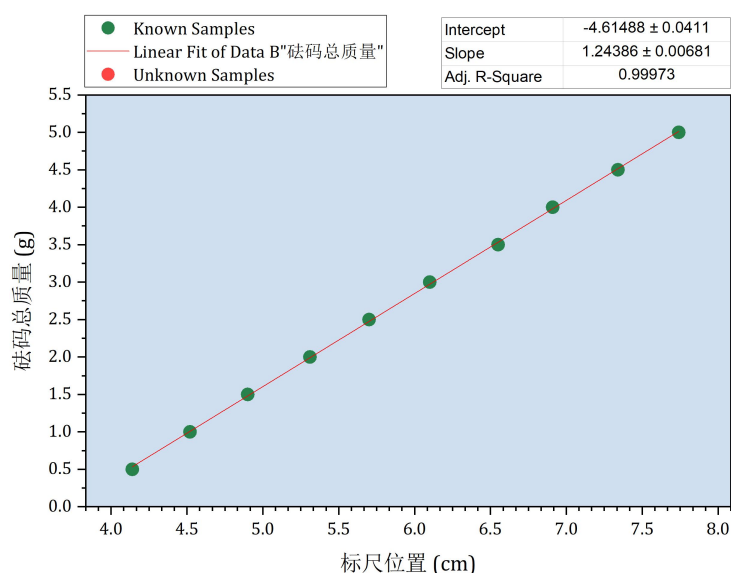


图 1: 利用 Origin2020 做出的焦利氏弹簧特征直线

计算结果

$$k = g \times k' = 0.98 \times 1.24 N/m = 1.22 N/m,$$

实 验 报 告

11 系 20 级 3 班

郭耸霄 PB20111712

2021 年 5 月 14 日

不确定度

$$U_k = 0.01cm,$$

最终结果

$$k = 1.22 \pm 0.01N/m.$$

5.1.2 自来水的表面张力系数

金属圈直径

平均值

$$\bar{d} = \frac{3.50 + 3.55 + 3.45}{3}cm = 3.50cm,$$

标准差

$$\sigma_d = \sqrt{\frac{(3.50 - 3.50)^2 + (3.55 - 3.50)^2 + (3.45 - 3.50)^2}{3 - 1}}cm = 0.05cm,$$

A 类不确定度

$$U_{Ad} = t_{0.95} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 4.30 \times \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.12cm,$$

B 类不确定度

$$U_{Bd} = k_{0.95} \frac{\Delta_b}{C} = 1.96 \times \frac{0.05}{3} = 0.03cm,$$

误差合成

$$U_d = \sqrt{U_{Ad}^2 + U_{Bd}^2} = \sqrt{0.12^2 + 0.03^2}cm = 0.12cm,$$

测量结果

$$d = (3.50 \pm 0.12)cm.$$

焦利氏弹簧伸长量

平均值

$$\bar{l} = \frac{4.95 + 4.90 + 4.89 + 4.93 + 4.98}{5}cm = 4.93cm,$$

标准差

$$\sigma_l = \sqrt{\frac{(4.95 - 4.93)^2 + (4.90 - 4.93)^2 + (4.89 - 4.93)^2 + (4.93 - 4.93)^2 + (4.98 - 4.93)^2}{5 - 1}}cm = 0.03cm,$$

A 类不确定度

$$U_{Al} = t_{0.95} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 2.78 \times \frac{0.03}{\sqrt{5}} = 0.04cm,$$

B 类不确定度

$$U_{Bl} = k_{0.95} \frac{\Delta_b}{C} = 1.96 \times \frac{0.01}{\sqrt{3}} = 0.01cm,$$

实 验 报 告

11 系 20 级 3 班

郭耸霄 PB20111712

2021 年 5 月 14 日

误差合成

$$U_l = \sqrt{U_{Ad}^2 + U_{Bd}^2} = \sqrt{0.04^2 + 0.01^2} \text{cm} = 0.04 \text{cm},$$

测量结果

$$l = (4.93 \pm 0.04) \text{cm}.$$

水的表面张力

计算结果

$$\sigma_{\text{水}} = \frac{k(l - l_0)}{2\pi d} = \frac{1.22 \times (4.93 - 4.00)}{2 \times 3.142 \times 3.50} \text{N/m} = 0.0516 \text{N/m},$$

不确定度传递

$$U_{\sigma_{\text{水}}} = \sigma_{\text{水}} \sqrt{\left(\frac{U_k}{k}\right)^2 + \left(\frac{U_l}{\Delta l}\right)^2 + \left(\frac{U_d}{d}\right)^2} = 0.0356 \times \sqrt{\left(\frac{0.01}{1.22}\right)^2 + \left(\frac{0.04}{4.93 - 4.00}\right)^2 + \left(\frac{0.12}{3.50}\right)^2} = 0.00198 \text{N/m},$$

最终结果

$$\sigma_{\text{水}} = (0.0516 \pm 0.0020) \text{N/m}.$$

5.1.3 洗洁精的表面张力系数

金属丝两脚间距离

平均值

$$\bar{s} = \frac{5.10 + 5.05 + 5.05}{3} \text{cm} = 5.07 \text{cm},$$

标准差

$$\sigma_s = \sqrt{\frac{(5.10 - 5.07)^2 + (5.05 - 5.07)^2 + (5.05 - 5.07)^2}{3 - 1}} \text{cm} = 0.02 \text{cm},$$

A 类不确定度

$$U_{As} = t_{0.95} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 4.30 \times \frac{0.02}{\sqrt{3}} = 0.05 \text{cm},$$

B 类不确定度

$$U_{Bs} = k_{0.95} \frac{\Delta_b}{C} = 1.96 \times \frac{0.05}{3} = 0.03 \text{cm},$$

误差合成

$$U_s = \sqrt{U_{As}^2 + U_{Bs}^2} = \sqrt{0.05^2 + 0.03^2} \text{cm} = 0.06 \text{cm},$$

测量结果

$$s = (5.07 \pm 0.06) \text{cm}.$$

焦利氏弹簧伸长量

实 验 报 告

11 系 20 级 3 班

郭耸霄 PB20111712

2021 年 5 月 14 日

平均值

$$\bar{l} = \frac{4.11 + 4.10 + 4.14 + 4.10 + 4.10}{5} \text{cm} = 4.11 \text{cm},$$

标准差

$$\sigma_l = \sqrt{\frac{(4.11 - 4.11)^2 + (4.10 - 4.11)^2 + (4.14 - 4.11)^2 + (4.10 - 4.11)^2 + (4.10 - 4.11)^2}{5 - 1}} \text{cm} = 0.02 \text{cm},$$

A 类不确定度

$$U_{Al} = t_{0.95} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 2.78 \times \frac{0.02}{\sqrt{5}} = 0.02 \text{cm},$$

B 类不确定度

$$U_{Bl} = k_{0.95} \frac{\Delta_b}{C} = 1.96 \times \frac{0.01}{\sqrt{3}} = 0.01 \text{cm},$$

误差合成

$$U_l = \sqrt{U_{Al}^2 + U_{Bl}^2} = \sqrt{0.02^2 + 0.01^2} \text{cm} = 0.02 \text{cm},$$

测量结果

$$l = (4.11 \pm 0.02) \text{cm}.$$

洗洁精的表面张力

计算结果

$$\sigma_{\text{洗洁精}} = \frac{k(l - l_0)}{2s} = \frac{1.22 \times (4.11 - 3.90)}{2 \times 3.50} \text{N/m} = 0.0366 \text{N/m},$$

不确定度传递

$$U_{\sigma_{\text{洗洁精}}} = \sigma_{\text{洗洁精}} \sqrt{\left(\frac{U_k}{k}\right)^2 + \left(\frac{U_l}{\Delta l}\right)^2 + \left(\frac{U_s}{s}\right)^2} = 0.0356 \times \sqrt{\left(\frac{0.01}{1.22}\right)^2 + \left(\frac{0.02}{4.11 - 3.90}\right)^2 + \left(\frac{0.06}{5.07}\right)^2} = 0.00343 \text{N/m},$$

最终结果

$$\sigma_{\text{洗洁精}} = (0.0366 \pm 0.0034) \text{N/m}.$$

5.1.4 洗洁精表面张力系数与浓度的关系

利用

$$\sigma = \frac{(l - l_0)k}{2s},$$

计算出不同浓度下的表面张力系数，再加上测得的水的表面张力系数，得到：

表 5: 洗洁精浓度与表面张力系数的关系

浓度（体积分数）	0.000	0.040	0.016	0.013	0.008
表面张力系数/(N/m)	0.0516	0.0361	0.0361	0.0288	0.0288

由于误差较大，无法做出合理的图像。

实 验 报 告

11 系 20 级 3 班

郭耸霄 PB20111712

2021 年 5 月 14 日

5.2 误差分析

见思考题部分。

5.3 实验讨论

5.3.1 实验操作方面

本实验测量的是微小量，测量时需要格外小心细致。例如在托盘上有水滴、不小心使金属丝掉入杯中都会给测量造成很大影响。旋转旋钮时，幅度稍大会造成拉脱，以致不易保证在刚好拉脱时三线对齐。

5.3.2 实验结果方面

1、我们已经得出纯水和洗洁精的表面张力系数，其中纯水的表面张力系数比洗洁精大得多。这就在某种程度上解释了洗洁精去污的原理。2、理论上洗洁精浓度越大，表面张力系数越小，但实际上得到的结论与之相反，细思其原因，认为有以下两点：

1) 注射器精度太低。实验室配备的注射器如同小孩玩具，刻度稀疏且不清晰，难以抽取一定量的洗洁精。与焦利氏弹簧的精密不搭配，本人不太理解。

2) 浓度梯度选取过小。浓度梯度过小以致其引起的表面张力变化达不到测量仪器的最大允差。

3) 多次加水，无法保证水温恒定。

6 思考题

6.1 焦利氏秤法测定液体的表面张力有什么优点？

1、由于用焦利氏秤测量液体表面的张力约在 $1 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-2}$ N 之间，因此需要有一种量程范围较小，灵敏度高，且稳定性好的测量力的仪器，而焦利氏秤的读数位可以精确到 0.01cm。

2、为保证液膜刚破时三线对齐，旋转平台微动调节，特别是金属圆杆升降钮时动作要轻缓，三线始终要对齐，这样的要求保证了测量的灵敏度和精确度。

3、焦利氏秤在测量过程中保持下端固定在某一位置，靠上端的位移大小来称衡，因而可以迅速测出液膜即将破裂时的 F，克服了用普通的弹簧是很难迅速测出液膜即将破裂时的 F 这一困难，可以方便地测量表面张力。

4、焦利氏秤还把弹簧做成锥形，克服了因弹簧自重引起弹性系数的变化，实验精度较高。

6.2 焦利氏秤的弹簧为什么做成锥形？

为了克服因弹簧自重引起弹性系数的变化。

6.3 拉脱法测定液体表面张力系数存在哪些误差？

系统误差

实 验 报 告

11 系 20 级 3 班

郭耸霄 PB20111712

2021 年 5 月 14 日

- 1、金属丝不水平。
- 2、忽略了金属丝上吸附水的质量。
- 3、由于实验持续时间导致的水温不恒定。
- 4、螺旋装置具有螺距差，十分影响力的测量。

随机误差

- 1、标尺读数误差。
- 2、判断三线重合不够仔细。
- 3、晃动试验台造成提前拉脱。