

中国科学技术大学
大学物理-基础实验 A 实验报告



实验题目液体表面张力系数测定

学生姓名廖荣_____

学生学号PB21071406_____

完成日期2022年4月20日_____

物理实验教学中心制

2020年09月

实 验 报 告

071 系 21 级 1 班

廖荣 PB21071406

2022 年 4 月 20 日

1 实验题目

通过焦利氏秤法 (拉脱法) 测得不同液体的表面张力系数

2 实验目的

1. 了解表面张力原理及其大小随液体种类变化而大幅改变的特性
2. 通过实际操作, 学会焦利氏秤的使用
3. 合理分析误差, 推断出表面张力系数测量误差的主要来源

3 实验仪器

1. 焦利氏秤
2. 若干 0.5g 砝码和 1g 砝码
3. 镊子
4. 刻度尺
5. 烧杯
6. 针筒注射器

4 实验原理

液体具有尽量缩小其表面的趋势, 好象液体表面是一张拉紧了的橡皮膜一样。把这种沿着表面的、收缩液面的力称为表面张力。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 σ 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。

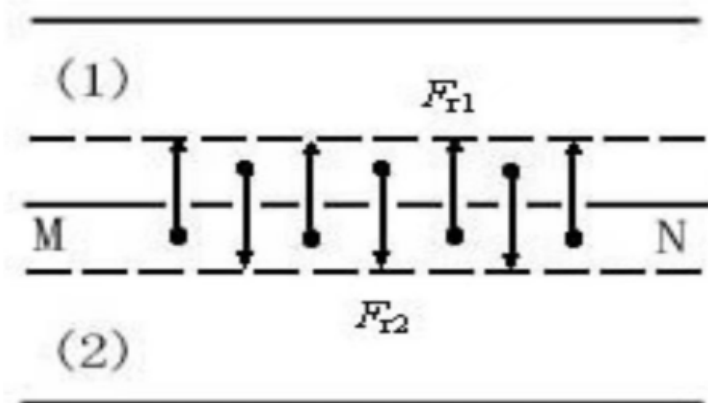


图 1: 表面张力示意图

实 验 报 告

071 系 21 级 1 班

廖荣 PB21071406

2022 年 4 月 20 日

在实验操作中,将金属丝框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

$$F = mg + 2F'$$

联立

$$F' = \sigma l$$

得到

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

在焦利秤的使用中,焦利秤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。

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 Δl ,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 。

5 实验内容

5.1 确定焦利氏秤上锥形弹簧的劲度系数

(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。

5.2 用金属圈测量自来水的表面张力系数

(1) 用游标卡尺测量金属圈的直径 d ;

(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。

5.3 用金属丝测量肥皂水的表面张力系数

(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,然后重复上述 2 中的步骤 (3) 和 (4) 步骤即可。

实 验 报 告

071 系 21 级 1 班

廖荣 PB21071406

2022 年 4 月 20 日

5.4 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

- (1) 配置不同浓度的洗洁精溶液
- (2) 重复上述 3 的步骤即可.

6 数据处理与误差分析

6.1 弹簧弹性系数的测量

表 1: 弹簧拉伸长度原始数据

测量序号	砝码质量/g	拉伸长度/cm
1	0.0	0.73
2	0.5	1.13
3	1.0	1.57
4	1.5	1.99
5	2.0	2.42
6	2.5	2.84
7	3.0	3.27
8	3.5	3.65
9	4.0	4.09
10	4.5	4.55
11	5.0	4.95

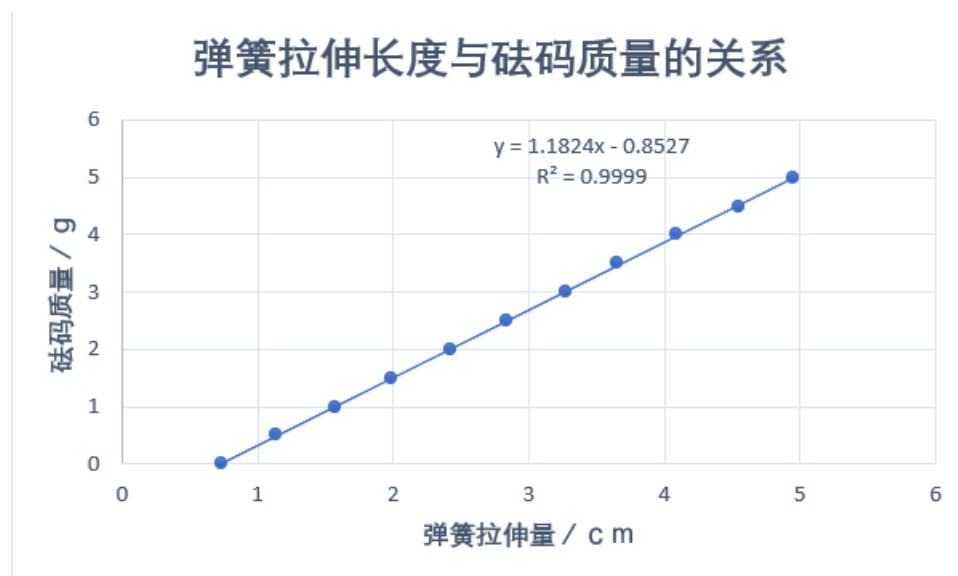


图 2: 弹性系数拟合图

若使用最小二乘法, 由表中数据和合肥地区重力加速度 $g = 9.7933m/s^2$ 带入得

$$k = \frac{mg}{l} = \frac{1.11824 \times 10^{-3} \times 9.7933}{10^{-2}} = 1.1580N/m^2$$

实 验 报 告

071 系 21 级 1 班

廖荣 PB21071406

2022 年 4 月 20 日

若使用画图法，直接取首尾数据算得斜率代入得

$$k = \frac{mg}{l} = \frac{\frac{5.0-0.0}{4.95-0.73} \times 10^{-3} \times 9.7933}{10^{-2}} = 1.1603N/m^2$$

6.2 水表面张力系数的测量

表 2: 金属圈直径距离 d

测量次数	1	2	3
直径/cm	3.55	3.60	3.70

$$\bar{d} = \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3} = \frac{3.55 + 3.60 + 3.70}{3} = 3.62cm$$

由不确定度合成公式 (钢尺允差为 0.02cm)

$$\sigma_{\bar{d}} = \sqrt{\frac{(d_1 - \bar{d})^2 + (d_2 - \bar{d})^2 + (d_3 - \bar{d})^2}{2}} = \sqrt{\frac{(-0.07)^2 + (-0.02)^2 + (0.08)^2}{2}} = 0.0765cm$$

$$u_A = \frac{\sigma_{\bar{d}}}{\sqrt{3}} = \frac{0.0765}{\sqrt{3}} = 0.0442cm$$

$$u_B = K_p \times \frac{\Delta_B}{C} = 1.96 \times \frac{0.02}{3} = 0.013cm$$

$$u_{P=0.95} = \sqrt{(t_{0.95}u_A)^2 + (u_B)^2} = \sqrt{(4.3 \times 0.0442)^2 + (0.013)^2} = 0.1905cm$$

表 3: 弹簧长度测量 L

测量次数	L_0	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5
长度/cm	1.05	2.34	2.36	2.37	2.35	2.34

$$\bar{\Delta}_L = \frac{L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 - 5 \times L_0}{5} = 1.302cm$$

由不确定度合成公式:(弹簧长度允差为 0.01cm)

$$\sigma_{\bar{\Delta}_L} = \sqrt{\frac{(\Delta_{L_1} - \bar{\Delta}_L)^2 + (\Delta_{L_2} - \bar{\Delta}_L)^2 + (\Delta_{L_3} - \bar{\Delta}_L)^2 + (\Delta_{L_4} - \bar{\Delta}_L)^2 + (\Delta_{L_5} - \bar{\Delta}_L)^2}{4}} = 0.0130cm$$

$$u_A = \frac{\sigma_{\bar{\Delta}_L}}{\sqrt{5}} = \frac{0.0130}{\sqrt{5}} = 0.00581cm$$

$$u_B = K_p \times \frac{\Delta_B}{C} = 1.96 \times \frac{0.01}{3} = 0.0065cm$$

$$u_{P=0.95} = \sqrt{(t_{0.95}u_A)^2 + (u_B)^2} = \sqrt{(2.78 \times 0.00581)^2 + (0.0065)^2} = 0.0174cm$$

$$\sigma = \frac{k \times \bar{\Delta}_L}{2\pi \times \bar{d}} = \frac{1.1603 \times 0.01302}{2 \times 3.1415 \times 0.0362} = 0.06642N/m$$

由间接不确定度合成公式:

$$\frac{\Delta_\sigma}{\sigma} = \frac{\Delta_L}{L} + \frac{\Delta_d}{d} = \frac{0.1905}{3.62} + \frac{0.0174}{1.302} = 0.0660$$

$$\Delta_\sigma = \frac{\Delta_\sigma}{\sigma} \times \sigma = 0.0044N/m$$

综上,

$$\sigma = 0.06642 \pm 0.0044N/m$$

实 验 报 告

071 系 21 级 1 班

廖荣 PB21071406

2022 年 4 月 20 日

6.3 洗洁精溶液表面张力系数的测量

表 4: 金属丝长度 L

测量次数	1	2	3
长度/cm	4.11	4.10	4.11

$$\bar{L} = \frac{L_1 + L_2 + L_3}{3} = \frac{4.11 + 4.10 + 4.11}{3} = 4.107\text{cm}$$

表 5: 弹簧长度测量 L

测量次数	L_0	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5
长度/cm	0.87	1.09	1.08	1.07	1.06	1.09

$$\overline{\Delta L} = \frac{L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 - 5 \times L_0}{5} = 0.208\text{cm}$$

$$\sigma = \frac{k \times \overline{\Delta L}}{2 \times \bar{L}} = \frac{1.1603 \times 0.00208}{2 \times 0.04107} = 0.02938\text{N/m}$$

6.4 自配洗洁精溶液的表面张力系数的测量

表 6: 不同浓度（体积分数）的洗洁精溶液的表面张力系数

浓度	L_0	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	$\overline{\Delta L}$	$\sigma(\text{N/m})$
0.25%	0.80	1.09	1.08	1.06	1.05	1.07	0.270	0.03814
0.50%	0.87	1.07	1.10	1.11	1.09	1.11	0.226	0.03192
0.75%	1.38	1.58	1.63	1.62	1.61	1.62	0.232	0.03277
1.00%	1.38	1.60	1.61	1.60	1.61	1.60	0.224	0.03164

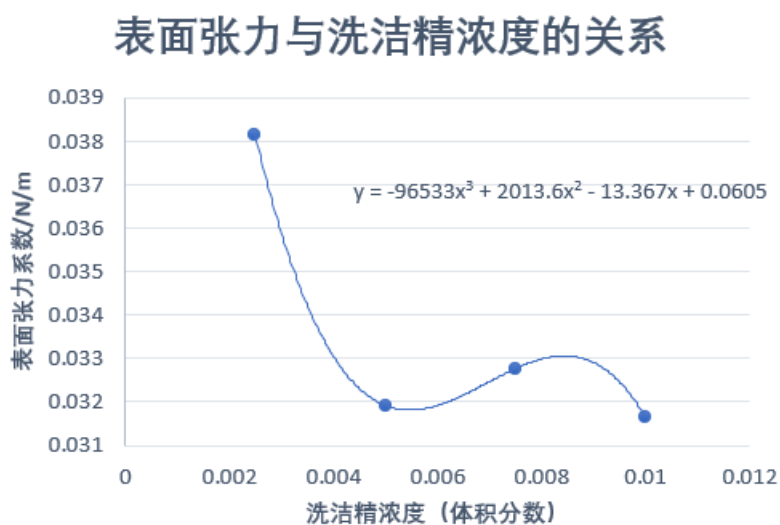


图 3: 表面张力与洗洁精浓度的关系

7 思考题

7.1 焦利氏秤法测定液体的表面张力有什么优点

1. 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 F' 。

2. 焦利氏秤使用锥形弹簧，克服了因弹簧自重引起弹性系数的变化，实验精度较高。

3. 焦利氏秤量程范围较小，灵敏度高，稳定性好，同时锥形弹簧的弹性系数小，长度的读数比较精确。以上均提高了实验精度。

7.2 焦利氏秤的弹簧为什么做成锥形

1. 为了使弹簧均匀伸长，消除其自重的影响。

7.3 实验中应注意哪些地方，才能减小误差

1. 实验前先调节底脚螺丝，使焦利氏秤竖直，防止平面镜升降过程中与玻璃管摩擦，使结果不准确。

2. 缓慢且同时地转动平台的高度调节螺母和升降钮，始终保持三线合一，防止液膜断裂时玻璃管内不处于三线合一的状态。

3. 实验用的金属圈和金属丝要先沾一下待测液体再称重，防止液珠增加的质量影响表面张力系数结果。

4. 测量清洁精的表面张力系数时先将其摇匀，防止不同深度清洁精浓度不同致使的表面张力系数不同。