

# 普通物理学实验 II

## 电子实验报告

实验名称: 常见物质水溶液表面张力系数测定与比较

指导教师: 王宙洋

班级: \_\_\_\_\_

姓名: \_\_\_\_\_

学号: \_\_\_\_\_

实验日期: \_\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日 星期\_\_\_\_上/下午

浙江大学物理实验教学中心

## 一、实验综述

### 【实验背景】

[表面张力]是液体物质的一种物理现象，它是分子引力作用产生的结果。液体表面分子既受液体外部化学性质相同物质吸引，又受液体内部分子吸引，但内部分子引力大于液体外部分子引力，故液体表面分子向内收缩，这种向内收缩的力叫做“表面张力系数”，又叫内聚力。

各种物质水溶液的表面张力系数与浓度的关系主要分为三种情况：

①表面非活性物质，包括氯化钠、硫酸钠、氯化铵、硝酸钾、氢氧化钠、氢氧化钾等无机盐和蔗糖、甘露醇等多羟基有机物。其溶液的表面张力系数随溶质浓度的增加而稍有上升。

②表面活性物质，主要是低分子量的极性有机物。其溶液的表面张力系数随溶质浓度的增加而逐渐下降。

③第三类物质，在浓度较低时，溶液的表面张力系数随物质浓度的增加急剧下降，当溶液的浓度增加到一定值后，溶液的表面张力系数随溶质浓度的变化很小。

表面张力是液体表面的重要特性。它类似于固体内部的拉伸应力，这种应力存在于极薄的表面层内，是液体表面层内分子力作用的结果。在宏观上，液体的表面就像一张拉紧了橡皮薄膜，存在有沿着表面并使表面趋于收缩的应力——表面张力。液体的许多现象与表面张力有关，如毛细现象、润湿现象、泡沫的形成等，工业生产中的浮选技术，动植物体内液体的运动，土壤中水的运动等也都与液体的表面现象有关，在船舶制造、水利学、化学化工、凝聚态物理中都有它的应用。研究液体的表面张力，可为工农业生产、生活及科学研究中有关液体分子的分布和表面的结构提供有用的线索。例如，表面活性剂由于具有润湿或抗粘、乳化或破乳、起泡或消泡以及增溶、分散、洗涤、防腐、抗静电等一系列物理化学作用及相应的实际应用，成为一类灵活多样、用途广泛的精细化工产品。表面活性剂除了在日常生活中作为洗涤剂，其他应用几乎可以覆盖所有的精细化工领域。

### 【实验原理】

#### (1) 表面张力系数的静力学测量：最大气泡法。

将毛细管插入液体，并施以一定的压力，在毛细管口处就会形成气泡，气泡的半径在形成过程中先由大变小，然后再由小变大，如图 1。

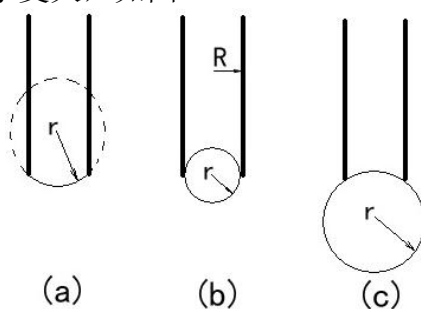


图 1 气泡形成过程中半径的变化示意图

设气泡在形成过程中始终保持球形，则气泡内外的压力差 $\Delta p$ （即施加于气泡的附加压力）与气泡的半径 $r$ 、液体表面张力系数 $\sigma$ 之间的关系可用拉普拉斯（Laplace）公式表示：

$$\Delta p = \frac{2\sigma}{r} \quad (1)$$

显然，在气泡形成过程中，如图 1 中(a)、(b)、(c)所示，压力差 $\Delta p$ 则由小变大，然后再由大变小。当气泡半径 $r$ 等于毛细管半径 $R$ 时，压力差达到最大值 $\Delta p_{\max}$ 。因此：

$$\Delta p_{\max} = \frac{2\sigma}{R} \quad (2)$$

由此可见，通过测定  $R$  与  $\Delta p_{\max}$ ，即可求得液体的表面张力系数。

## (2) 表面张力系数的动力学测量：气泡幅频当量法。

动态法液体表面张力系数测量基于“气泡幅频当量法”，其基本思想就是变静力学测量为动力学测量，将缓慢吹气变为每秒钟吹若干个气泡，同时不再测量泡内最大绝对压力，而改为测量气泡内相对压强差和气泡生成的周期。

将毛细管插入液体中，另一端接一个气流量可调的气源，向被测液体吹气，检测气泡不断形成、长大和破灭的过程，可获得 1 条等幅振荡曲线。图 2 即为实验获得的气泡内压强幅值与气泡形成时间关系曲线。图中点 c、b 分别对应气泡曲率半径最小和气泡即将脱离管口，即气泡压强最大和最小的两种状态。该曲线的纵坐标为气泡内压强变化值，横坐标为时间，表示气泡形成速度。由于气泡内压强差和气泡形成速度与液体表面张力系数密切相关，因此，可以根据曲线的振幅和频率求解出一个与真实表面张力系数相当的数值，称之为当量表面张力系数。由于该方法是以一定时间内所形成的气泡压强幅值和频率为测量参数来求解当量表面张力系数，故称为“气泡幅频当量法”。

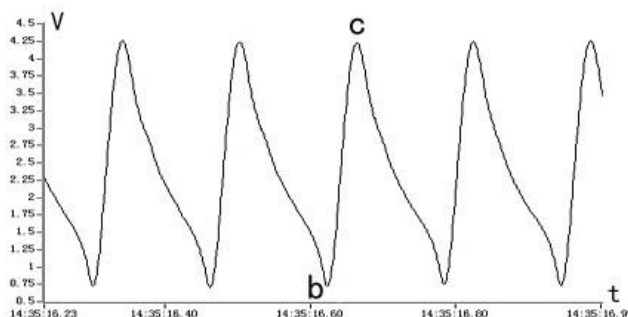


图 2 气泡内压强变化与时间关系

该方法可将计算表面张力系数的公式写成以下形式：

$$\sigma_d = a\Delta P + bT + c \quad (3)$$

式中， $\sigma_d$  为液体当量表面张力系数， $\Delta p$  为气泡内压强变化幅值， $T$  为气泡生成周期， $a$ 、 $b$ 、 $c$  为修正系数，由实验数据确定。

通过实验也可以得出，在气流量不变的条件下，毛细管插入越深，测得的  $\Delta p$  越小，气泡生成的周期  $T$  越大，反之亦然。因此毛细管入深度所带来的影响是互补的。如果实验测量时保持毛细管的插入深度不变，即可消除其对表面张力计算产生的影响。温度对液体表面张力有不同程度的影响，在测定表面张力的同时，必须给出温度参数。

本实验可以通过对常见物质水溶液表面张力系数测定与比较，加深了解各液体的基本性质。运用气泡幅频当量法，先用水在不同温度下已知的表面张力系数，和通过实验测量得到的水在相应温度下气泡内压强差  $\Delta p$  和气泡生成周期  $T$  的实验数据，求解出当量表面张力系数公式中的系数  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 。建立表面张力系数气泡幅频当量法的数学模型公式  $\sigma_d = a\Delta P + bT + c$ ；再分别测量不同物质水溶液（食盐、蔗糖）在不同温度下的气泡内压强差和气泡生成的周期的数据，由公式(3)计算表面张力系数，作出温度与表面张力系数的关系曲线图，并进行分析比较。

## 二、实验内容

实验一：用水的已知表面张力系数建立气泡幅频当量法数学计算公式，确定公式(3)中的系数

水的温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	26	28	29	30	35
$\Delta P$ (V)	2.70	2.67	2.65	2.63	2.54

$T (ms)$	263.9	262.9	262.4	262.1	260.0
已知表面张力系数 $\sigma \times 10^{-3} (N \cdot m^{-1})$	71.82	71.50	71.35	71.18	70.38

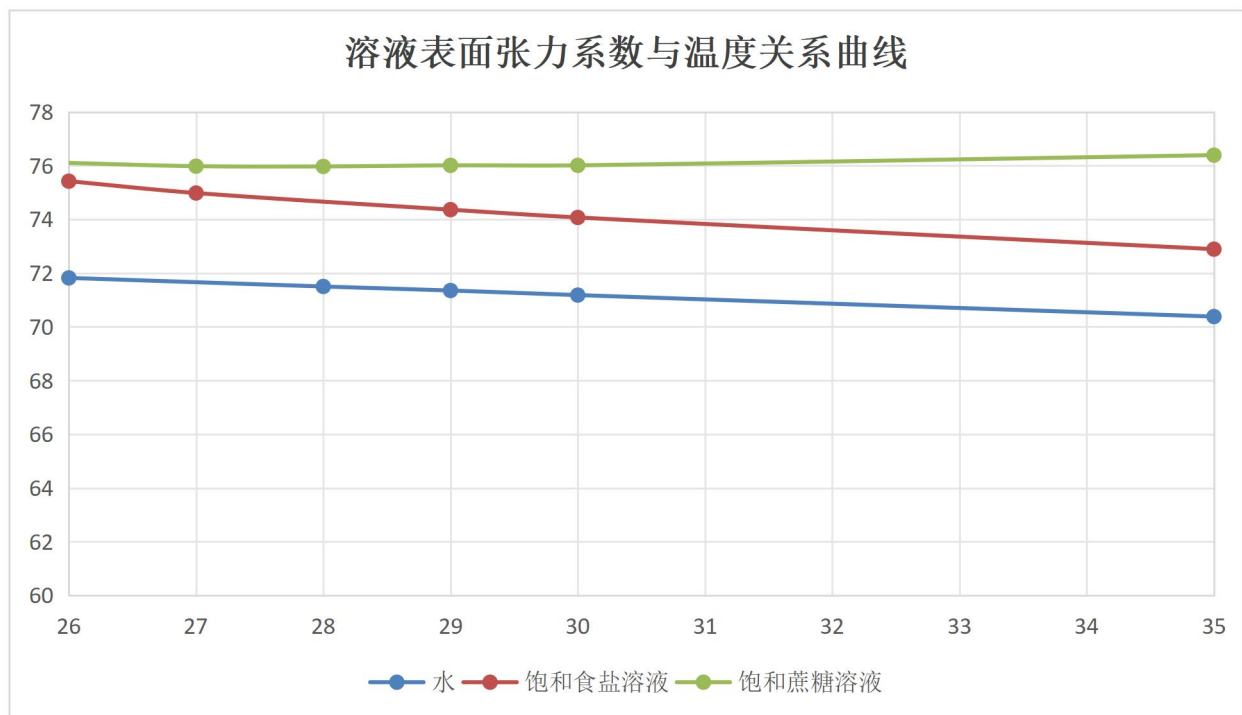
建立的气泡幅频当量法计算公式为： $\sigma_d = 3.1416\Delta P + 0.2403T - 0.0697$  (4)

### 实验二：研究饱和食盐溶液的表面张力系数

饱和盐溶液温度 ( $^{\circ}C$ )	26	27	29	30	35
$\Delta P (V)$	2.57	2.57	2.55	2.54	2.49
$T (ms)$	280.5	278.7	276.4	275.3	271.1
根据 (4) 式计算得到 表面张力系数 $\sigma \times 10^{-3} (N \cdot m^{-1})$	75.42	74.98	74.36	74.07	72.89

### 实验二：研究饱和蔗糖溶液的表面张力系数

饱和盐溶液温度 ( $^{\circ}C$ )	27	28	29	30	35
$\Delta P (V)$	2.55	2.57	2.55	2.54	2.49
$T (ms)$	283.1	282.8	283.3	283.4	285.6
根据 (4) 式计算得到 表面张力系数 $\sigma \times 10^{-3} (N \cdot m^{-1})$	75.98	75.97	76.01	76.01	76.39



由数据和图像可以看出，水的表面张力系数随温度升高而降低，大致成线性关系；饱和

食盐溶液的表面张力系数随温度升高而降低；饱和蔗糖溶液的表面张力系数随温度升高而升高。

### 三、实验拓展

1. 盐、糖、肥皂粉属于表面活性物质还是表面非活性物质？

盐和糖属于表面非活性物质；肥皂粉是表面活性物质。

2. 矿泉水与自来水表面张力系数那个大，为什么？

矿泉水的表面张力比自来水稍大。因为矿泉水中含有一定量的溶解矿物质，它们可能增强水分子之间的相互作用，稍微增加表面张力；而自来水中溶解的化学物质较少，因此表面张力可能略低。不过总的来说，两者的差异不会太大。

3. 为什么实验中要保持液面高度、毛细管插入深度一致？

因为毛细管插入液面的深度对气泡内压差 $\Delta p$ 和气泡生成周期 $T$ 均有影响：在气流量不变的条件下，毛细管插入越深，测得的 $\Delta p$ 越小，气泡生成的周期 $T$ 越大；而液面高度会影响导热等情况，故我们需要在实验中保持这两个条件始终一致，从而消除它们对表面张力计算产生的影响。

4. 实验中建立的表面张力气泡幅频当量法数学模型公式是通用的吗？使用条件有哪些？

不是通用的。要使用该公式，测量的样品需要和计算得出该公式的原样品保持相同的气流量、相同的液面高度、相同的毛细管插入深度。

5. 对实验结果进行分析。

由数据和图像可以看出：

①水的表面张力系数随温度升高而降低，大致成线性关系：随着温度升高，水分子之间的氢键变得更加不稳定，水的表面张力逐渐下降。水的表面张力与温度之间大致呈线性关系，但这一变化会在不同的温度区间有所差异。

②饱和食盐溶液的表面张力系数随温度升高而降低：随着温度升高，盐溶液的分子热运动增强，导致溶液的黏度降低和表面张力减小。

③饱和蔗糖溶液的表面张力系数随温度升高而升高：蔗糖是表面非活性物质，其溶液的表面张力系数随溶质浓度的增加而稍有上升。

6. 解释“最大泡压法”基本原理。

将毛细管插入液体，并施以一定的压力，在毛细管口处就会形成气泡，气泡的半径在形成过程中先由大变小，然后再由小变大，则气泡内外压力差 $\Delta p$ 也先由小变大，然后再由大变小，当气泡半径 $r$ 等于毛细管半径 $R$ 时，压力差达到最大值。设气泡在形成过程中始终保持球形，则 $\Delta p$ 与气泡的半径 $r$ 、液体表面张力系数 $\sigma$ 之间的关系可用拉普拉斯（Laplace）公式表示：

$$\Delta p_{\max} = \frac{2\sigma}{R}$$
，故通过测定 $R$ 与 $\Delta p_{\max}$ ，即可求得液体的表面张力系数。

7. 设计一个新的或有改善的测量液体表面张力的方法，简述测量方法和基本原理并分析实验存在的误差。

可以采用滴重法，利用液滴从细针或毛细管的口部脱落时的重量与液滴的形成特征来计算液体的表面张力。

**【基本原理】**：液体的表面张力使得液滴从管口形成并脱落，液滴从管口脱落时，表面张力提供了使液滴分离的力，而重力则使液滴增加到一定的质量后脱落。液滴的重量(mg)和表面张力成正比，可以通过液滴的体积和液体的密度来推算表面张力。

**【测量方法】**：将液体倒入量筒中，放置在稳定的平台上，确保没有气泡。将细针或毛细管固定在支架上，确保滴管稳定。通过精密天平准确称量空容器或托盘的质量，并记录。用滴管缓慢滴落液体，每次液滴完全从滴管上脱落后，称量托盘上增加的液滴质量。记录液滴的

质量( $m$ )、液滴脱落时的液体密度( $\rho$ )以及滴管的口径( $r$ )。记录每次液滴的质量,并重复多次实验,以确保数据的准确性。通过计算液滴的质量并结合滴管口的半径,利用相关公式计算表面张力。

**【实验误差】:**精密天平称量液滴时可能存在零点漂移或称量不准确的误差。如果滴管口径不均匀或测量不准确,可能会影响计算结果。在某些情况下,液滴可能没有完全按照规则的形态脱落,可能出现液滴脱落前后形态不稳定,或液滴挂在滴管上。温度会影响液体的密度、表面张力以及粘度。如果实验温度不稳定,可能导致测量误差。每个液滴的体积和质量可能会有所不同,尤其在液滴脱落过程的初期和末期,液滴形状可能不稳定。液体的粘度和表面污染(如尘埃、油脂等)可能影响液滴的形成和脱落,导致液滴质量的测量出现偏差。

## 四、误差分析与心得体会

### 【误差分析】

1. 实验仪器本身有一定的系统误差。
2. 在测量过程中,为使溶液饱和,食盐和蔗糖均加入过量,使其在烧杯底有较厚的沉淀,但由于实验时间有所限制,即使杯底有沉淀也不一定能保证水中的溶质溶解到了饱和的程度。且杯底的固体可能会对加热过程有影响。
3. 在记录数据的过程中温度仍然在变化,这给实验带来了误差。
4. 实验过程中,环境温度在持续变化,这也给测量结果带来了一定的误差。
5. 实验所用的溶液可能混有杂质,这也会带来误差。

### 【心得体会】

本次实验的原理和操作都并不复杂,但实际操作过程中还是产生了许多麻烦。例如,在做第一个实验的过程中,我做了两组实验后发现自己的波形好像并不完整,在求助老师后,通过调节气流量和毛细管插入深度解决了该问题。再比如,在配置溶液的过程中,起初想当然地加了接近目标刻度的水后再慢慢向烧杯中加入溶质,但这样配置了很久溶液也没有到达饱和,并且在配置过程中溶液体积逐渐变大,需要倒掉,因此耗费了很多时间,在询问老师和上网搜索资料后发现实验所用两种溶质,尤其是蔗糖在水中的溶解度非常高,第二次配置时只加距离目标刻度线一半处的水,再加入蔗糖,配制溶液就比较顺利了。

本次实验不仅让我学到了液体表面张力的有关知识,也启示我在以后的实验过程中,要更加注重预习环节,不仅要把说明文件通读一遍,还需要充分理解,积极思考。比如本实验中,如果在预习时注意到要配置饱和溶液时,能够对配置饱和溶液的过程和需要注意的事项多加思考,提前查阅两种溶质的溶解度并据此决定好应加多少水,就能大大节约实验时间。