

集
锦

拉脱法测量液体表面张力系数实验的改进

孔维姝, 赵维金, 唐延林, 胡 林

(贵州大学 理学院 贵州光电子技术与应用重点实验室, 贵州 贵阳 550025)

摘 要: 从约利弹簧秤的结构出发, 指出拉脱法测量液体表面张力系数的不合理性以及由此带来的系列问题. 通过实验研究, 提出合理的操作方法——降拉脱法, 并给出相应的操作流程.

关键词: 表面张力系数; 拉脱法; 液膜

中图分类号: O351.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-4642(2012)01-0036-03

1 引 言

拉脱法测量液体表面张力系数是大学物理实验中的基本实验. 拉脱法中测量拉力一般用约利弹簧秤和扭秤. 该实验由于系统误差较大^[1-6], 提高测量精度成为人们关注的问题. 文献[1]提出了一种用千分尺的结构原理改善载物台稳定性的方法; 文献[2-3]分别讨论了 π 丝中横丝的水平度和侧丝的垂直度以及它们的长短对实验结果的影响; 文献[4]推出了考虑浮力和膜重影响的测量公式; 文献[1, 4]都提出了用镜像原理定位的方法, 但未见关于拉脱法不合理性的报道. 本文从约利弹簧秤的结构出发, 指出了拉脱法的不合理性以及带来的问题, 在此基础上, 通过实验研究, 提出合理的操作方法, 并绘制出相应的流程图.

2 拉脱法的一些问题

约利弹簧秤的特点是将弹簧的下端固定, 用 upper 位置的高低反映拉力的大小. 弹簧下端的固定是通过三线(弹簧下端标镜中的水平线、固定架上玻璃筒表面的水平线以及其在标镜中的像)同面实现的. 由于其固定点是悬空且可移动, 所以操作过程中必须注意保持三线同面, 否则弹簧上端的位置不能反映拉力的大小.

图1是拉脱法操作过程的流程图, 由图可见, 在整个拉膜过程中, 控制弹簧上端的位置总是向上提拉, 在弹簧下端位置不变的情况下, 这意味

着, 在整个拉膜过程中, 拉力总是增加. 换句话说, 拉脱法只能测量向上提拉液膜过程中总是增加的拉力, 如果拉力不变或减少, 只要向上提拉弹簧, 三线必不同面, 弹簧上端的位置也就不能反映拉力的大小. 事实上, 在拉膜过程中, 拉力有几乎不变的过程, 有增加的过程, 也有减小的过程, 因此, 这样的操作存在不合理性.

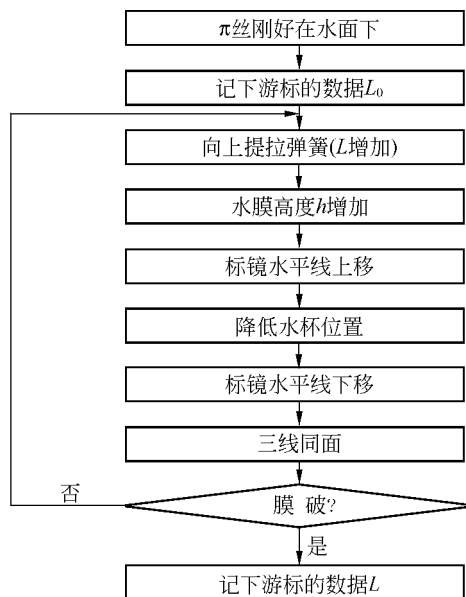


图1 拉脱法操作流程

由于拉脱法操作的不合理, 导致以下问题:

1) “自升现象”描述中的错误
仔细观察实验, 可以发现, 在拉脱法的操作

收稿日期: 2011-06-20; 修改日期: 2011-10-31

基金项目: 教育部高等学校物理基础课程教学指导分委员会项目(2009); 贵州省基金资助(2011); 教育部高等学校物理基础课程教学指导分委员会项目(2008); 贵州省省长基金资助(2010)

作者简介: 孔维姝(1958—), 女, 河北武安人, 贵州大学理学院教授, 学士, 从事凝聚态物理方面的研究.

中,膜破前经历了一个突变过程,即当液膜被拉出液面一定高度后,不再提拉弹簧,液膜仍会上升一定的高度.文献[4-6]将该过程描述为,当液膜被拉出液面一定高度后,拉力不增加,液膜自动上升一定的高度,并称之为自升现象.这种描述,没有考虑到“拉力不增加”的过程中,约利弹簧秤的指示镜(或扭秤的指示杆)已偏离原位置而上移,因此,在突变过程中,拉力不是没增加,而是减小了;液膜不是自动升高,而是拉力减小,指示镜上移带动 π 丝上移,从而液膜升高.自升现象描述错误的原因实际上就是拉脱法对弹簧上端的位置只拉不降的不合理性误导的.

2) 测量末态定位粗糙

拉脱法测量液体表面张力系数需测量 2 个状态量,将其对应的两状态分别称为测量初态和测量末态.拉脱法的测量末态为膜破时的状态,而膜破前经历了一个突变过程,突变原因主要是,膜在要破时,膜的 2 个表面变薄,由此引起表面张力急剧减小所致.而对于拉脱法,调节弹簧上端的位置只是向上提拉,显然当拉力减小时,弹簧要收缩,这样,无论如何降低水杯,也不能使三线同面.因此,用拉脱法操作,膜破时的状态,三线是不同面的,即弹簧下端的位置没固定,因此用膜破时的状态作为测量状态起码是粗糙的.

3) 测量初态定位困难

对于测量状态的确定,原则应是简单、准确为好.由 π 丝在水面下的受力情况可见, π 丝在水面下上移过程中,除了浮力略有变化以外,其他力都不变.实验中,对于 $k=0.3\text{ N/m}$ 的弹簧, $d<0.3\text{ mm}$ 的 π 丝,用约利弹簧秤测量,观察不到 π 丝在水面下上移时浮力的变化.这样,初态只需将 π 丝放在水面下就行.但是,对于拉脱法,由于不能测量向上拉膜过程中不变的拉力,因此,初态只能将 π 丝刚好放在液面下,以避免拉力不变的向上拉膜过程,显然这样定位,增大了实验难度.

3 降拉脱法

无论是用约利弹簧秤还是扭秤,拉脱法的不合理性都源于向上提拉液膜,事实上,拉膜可以有 2 种方式,以约利弹簧秤为例,一是向上提拉弹簧,另一是向下降低水杯位置.从表面上看似乎向上提拉弹簧拉膜没问题,但是,约利弹簧秤的结构特点是弹簧下端的位置固定,这样,弹簧上端位

置的高低才能反映拉力的大小,而弹簧下端和 π 丝之间是刚性连接,因此在操作过程中 π 丝位置也应保持不变.在 π 丝位置不变的情况下,只有通过降低水杯位置拉膜才是合理的操作.在降低水杯拉膜过程中,根据 π 丝受到的拉力的情况确定弹簧上端的位置是该提升还是该降低,如果拉力不变,不用改变弹簧上端位置,3 线自然同面;如果拉力增加,需向上提拉弹簧上端位置,才能保持三线同面;如果拉力减小,则需降低弹簧上端位置来保持三线同面.

按图 2 所示的降拉脱法(降低水杯位置拉膜)的操作流程图实验,并在操作过程中录像拍下约利弹簧秤上游标的示数以及旋转控制载物台高度旋钮的圈数,用软件将录像分解成照片,再测出其旋钮的螺距,可得到弹簧上端位置 L 随液面下降高度 h 变化的实验数据(图 3 所示),其中, L 越大,拉力越小; h 越大,液面位置越低.由图 3 可见,实验曲线由 AB,BC,CD 三段组成,三段分别对应于 π 丝在水面下到 π 丝进入液面、 π 丝露出液面到膜破前突变过程的初态以及膜破前的突变过程,其中拉力在 AB 过程中不变;在 BC 过程中增加(随着液膜的高度增加,表面张力在竖直方向上的分量增加,导致该过程中拉力增加^[5-6]);在 CD 过程中减小(此过程中,膜的 2 个表面层厚度变薄,当其薄到一定程度后自然破裂,因此,在该过程中, π 丝受到的表面张力会变小,相应的拉力也就减小,其中 C 点是拉力由增大到减小对应的突变点,相应的表面张力沿竖直方向).考虑到该

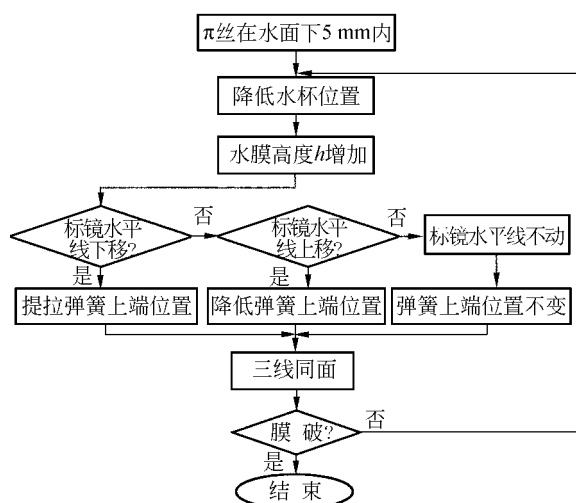


图 2 降拉脱法的操作流程

条件下几乎观察不到浮力变化,图 3 中 AB 过程和 C 状态对应的动力学方程分别近似表示为:

$$F_b \approx Mg,$$

$$F_c \approx Mg + 2\alpha l,$$

其中 M 和 l 分别为 π 丝的质量和 π 丝水平部分的长度. 考虑到 $F_c - F_b = k(L - L_0)$, 由上两式可得到表面张力系数为

$$\alpha = \frac{k(L - L_0)}{2l}.$$

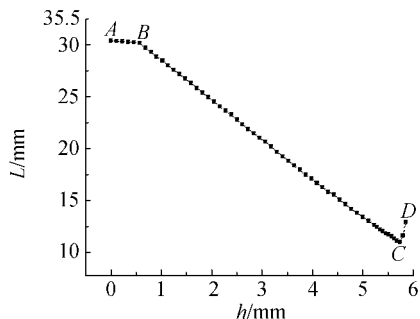


图 3 弹簧上端位置 L 随水杯下降高度 h 变化的实验曲线

由以上分析可知,可选 AB 过程中的任意状态和 C 状态为 2 个测量状态. 由于 CD 段与测量无关,故操作过程可以到 C 突变点结束,这样操作方法可以简化为:将 π 丝放在液面下 5 mm 以内,调节三线同面,记下游标上的数据 L_0 ;降低水杯位置,根据指示镜的位置高低调节弹簧上端的位置,使三线同面,直到标镜水平线突然上移,记下游标上的数据 L ,测量结束. 将该操作方法称为简降拉脱法,简降拉脱法的操作流程见图 4.

简降拉脱法物理图像清晰,方法简单,有利于培养学生分析问题和解决问题的能力.

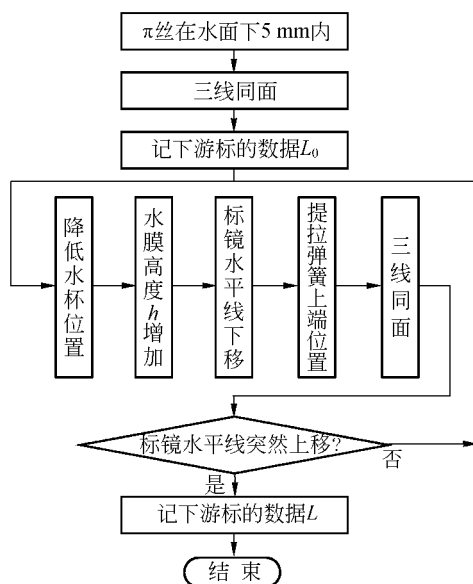


图 4 简降拉脱法操作流程

参考文献:

- [1] 左安友,易金桥. 测定液体表面张力系数实验的探索[J]. 湖北民族学院学报(自然科学版),2003,21(1):91-93.
- [2] 江瑞琴,魏纪鹏. 也谈金属丝的形状对表面张力系数测定的影响[J]. 物理实验,1998,18(2):18.
- [3] 魏杰,张拥军,陈江,等. 拉脱法测液体表面张力系数的改进[J]. 大学物理,2004,23(12):43-45.
- [4] 段坤杰,衡丽君. 焦利氏称测液体表面张力系数的探讨[J]. 大学物理实验,2010,23(6):33-37.
- [5] 祝桂芝,卢湛锚. 用拉脱法测定液体表面张力系数实验中被忽略的一种现象[J]. 物理实验,1989,9(4):148-150.
- [6] 段蔚萱,杨玉朴. 测量液体表面张力系数两种方法的比较[J]. 物理实验,1993,13(4):147-149.

Improvement of liquid surface tension coefficient experiment using pull-out method

KONG Wei-shu, ZHAO Wei-jin, TANG Yan-lin, HU Lin

(Key Laboratory for Photoelectric Technology and Application of Guizhou Province,
School of Science, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract: Starting from the structure of Jolly scale, some problems in the experiment of liquid surface tension coefficient measurement using pull-out method were pointed out. The drop pull-out method was put forward after experimental studies, and the corresponding operation flowchart was given.

Key words: surface tension coefficient; pull-out method; liquid film [责任编辑:郭伟]