

薄膜干涉演示仪的设计

郭思妍, 严寒, 吕景林

复旦大学 物理系, 上海 200433

摘要: 本文介绍了一种用于课堂演示薄膜干涉的实验装置。文中对形成薄膜的溶液、展示薄膜的幕布等都进行了一些尝试。此装置操作简便, 形成薄膜面积大, 持续时间长, 演示效果好。

关键词: 薄膜干涉; 演示; 表面张力; 幕布

0. 引言

薄膜干涉是光学中的一个重要概念, 但纯粹的理论推导过于抽象, 学生不易透彻理解, 通常采用肥皂溶液或洗洁精溶液演示薄膜干涉, 但形成的薄膜面积小、持续时间短, 不便于在课堂上向全体同学展示。故如何配置薄膜溶液, 使之具有较好的延展性, 又如何将溶液的薄膜拉出尽可能大的面积, 且持续时间尽可能长, 干涉效果尽可能明显, 这是本文探讨的问题。

1. 溶液配制

薄膜的形成主要取决于表面张力。表面张力是分子间作用力的一种外在表现, 其作用是使薄膜向内收缩, 处于面积最小, 表面能最低的一种状态。故若液体表面张力大, 则薄膜向内收缩的力大, 无法产生面积较大的薄膜, 实验现象不明显。要想得到大面积的、持续时间长的薄膜, 就需调整液体表面张力, 即通过改变溶液配方来完成。经查资料, 溶液配方除了用水作为溶剂之外, 还需增加高分子聚合物和表面活性剂来调整液体表面张力。

1.1 高分子聚合物和表面活性剂在溶液中的作用

高分子聚合物在静止的水中是蜷缩状的, 而在运动的水中会被拉伸。液体流动时, 高分子像弹簧一样被拉伸, 其对水分子反作用的拉力抵消了一部分水的张力。所以, 高分子聚合物最重要的作用是减少溶液内分子的范德霍夫力, 从而使溶液形成的膜的表面积增大。

表面活性剂是一类特殊的化合物, 它有着—端亲水—端疏水的特殊结构。它们可以集中在液体的表面并且能够把液体的表面撑开。

1.2 溶液配制方案的选取

生活中, 蜂蜜、洗洁精、聚乙烯醇等都是常见的活性剂, 而白糖、烧碱、胶水、甘油、蓖麻油等可以延缓水的蒸发。所以, 在多方查找资料后, 我们首先选取了以下三种溶液配方(均为体积比), 并利用圆环(直径 10cm)拉起薄膜的高度以及吹出泡的直径和存留时间来对比溶液性能。

方案 A: 胶水: 水: 洗洁精: 蜂蜜=1:4:4:3, 另外再加一药匙白糖。此溶液可拉起高度为 6cm 的薄膜, 吹出直径 10cm 的泡, 可持续时间为 8s。此配方由于蜂蜜的添加, 溶液很快大量起泡, 溶液起泡后就很难再拉起薄膜。

方案 B: 蓖麻油 60ml, 烧碱溶液(波美 28 度) 45ml, 甘油 5ml, 水 385ml, 聚乙烯醇 5g。此方案因聚乙烯醇的不易溶而导致最终配制的溶液不能够拉出薄膜。

方案 C: 甘油: 胶水: 水: 洗洁精=1:1:4:4。此方案可拉出薄膜高度为 7cm, 吹出直径为 10cm 的泡, 持续的时间为 5s。

三种方案中, 方案 C 拉起薄膜最高, 且配置方便, 溶质简单易得, 对方案 C 进一步改造得方案 D: 甘油: 胶水: 水: 洗洁精=3:1:4:4。此时圆环拉起的薄膜高度为 8-9cm, 吹出泡的直径为 15-20cm, 存留的时间为 7-8s。

对溶液 D 进行了表面张力系数的测定: $\alpha=0.0164\text{N/m}$ (25°C), 对比水在 25 °C 下的表面张力系数 $\alpha=0.07197\text{N/m}$, 可看出实验最终使用的溶液表面张力比同等条件下水的表面张力要小得多, 可以

拉伸的表面积也较水膜大得多。

2. 演示装置的设计

2.1 幕布形状的设计

溶液配置好后，薄膜形成的好坏，与幕布的设计息息相关。本文中进行了两种方案的尝试。

1 圆形幕布

利用铁丝环从溶液表面拉起一定高度的薄膜来演示，装置如图 1。

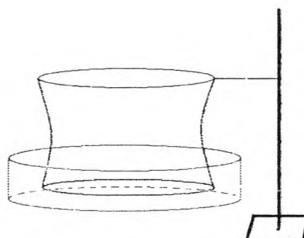


图 1 圆形幕布装置示意图

此方案可拉出的薄膜高度为 8-9cm。在实际实验中发现，圆形幕布易受表面张力影响。测试中膜向内弯曲，并倾向于形成体积最小的形状。薄膜高度受到圆环直径的限制，当膜的高度大于圆环半径后，薄膜就很容易脱离下部液体，膜面形成一个半球形。因此要想使用这样的装置拉起足够高的明显的薄膜，需要很大的圆环和圆形水槽，给演示带来不便。故放弃此方案。

2 梯形幕布

利用架在两竖直杆之间的水平杆拉起一定高度的薄膜来演示，装置如图 2。

此方案可以避免圆形幕布的缺陷，且实验中发现，幕布形状的微小改变，也会影响拉出薄膜的高度。我们曾尝试过矩形和正梯形、倒梯形三种幕布形状，以倒梯形拉起的高度最低，正梯形（上窄下宽）拉起的高度最高，可达 25cm，约为前两种情况拉起薄膜高度的两倍。故最终选择的是正梯形幕布，且为了水平杆与竖直导轨间较好的贴合，整个装置略向后倾斜。

关于幕布的组成还发现有以下的一些细节：两边竖直方向上的导轨材料不能太细，水平拉杆不能太粗，否则薄膜易破，本装置最后选择了直径为 5mm 的铁丝作为竖直方向的导轨，

直径 2mm 的铁丝做水平拉杆。因为粗糙的表面能够沾取较多的溶液，所以水平杆未经打磨。

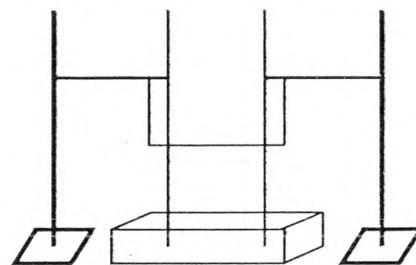


图 2 矩形幕布方案装置示意图

2.2 整体装置设计

整体装置分为水槽、幕布、电机、光源、背板等 5 个部分。示意如图 3。

水槽：深 5cm，任意材质；幕布：正梯形，具体见前述。

电机：为了使水平杆匀速稳定地上升，选取了两种转速（30r/m 和 15r/m）的电机进行比较。

发现 15r/m 的电机速度过慢，薄膜形成的过程中非常容易受到两侧导轨光滑程度的影响而稳定性不高，而 30r/m 的电机效果好些，形成的薄膜高，在最高点持续时间也长，故选择后者。

使用 30r/min 的电机两个，分别固定在两边铁架台上，将电机和水平拉杆用细线连接（线不能太粗，否则多次连续

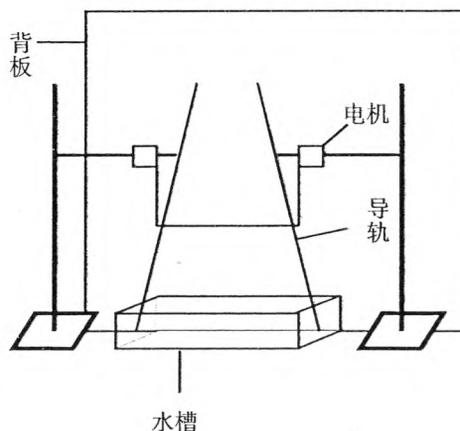


图 3 整体装置示意图

实验时，线身会扭曲，影响稳定上升)，电机转动时带动水平杆上下移动。

光源：曾选择过钠灯、汞灯和日光灯。发现钠灯显示出的条纹只是黄黑两色，不够明显；汞灯亮度有限不能够大面

积产生条纹，日光灯则可以产生色调丰富的彩色条纹，当然环境亮度不能太高，教室里的日光灯开一半即可。

背板：背板的作用是消除薄膜后方背景光的影响，经比较选择纯白色背景板效果最好。

3. 结论

本文中设计的薄膜干涉演示装置，最终可拉起的薄膜最大高度值为 25cm，且拉起 20cm 左右时，薄膜可持续 4min 不破，方便持续观察。用日光灯做光源，从薄膜上可观察到丰富的彩色条纹（见图 4），用于课堂演示，可收到良好的效果。

本文所述均为实验结论，一些现象背后的原因，如为什么正梯形幕布效果最好，两侧导轨倾斜角度多少最佳？整个装置向后的倾角是否与导轨及水平杆的结构之间有一个最佳匹配值等，这些问题都有待进一步的探讨。



图 4 薄膜干涉演示效果

参考文献

- 【1】H. 史里希廷, 边界层理论[M], 北京: 科学出版社, 1988,
- 【2】沈元华, 陆申龙. 基础物理实验[M], 北京: 高等教育出版社, 2003:116-119
- 【3】<http://zhidao.baidu.com/>
- 【4】<http://baike.baidu.com/>
- 【5】<http://zh.wikipedia.org/>

Design of a New Device on Demonstrating Thin Film Interference

Guo Si-yan, Yan Han, Lv Jing-lin

(Department of Physics, Fudan University, Shanghai 200433, China)

Abstract: A new device on demonstrating thin film interference in class was introduced. And based on it, this article puts forward a new trial on the solution for forming the thin film, the curtain for showing thin film, and so forth. The new device is easy to operate, to form large area of thin film, and to demonstrate for a long time with obvious fringes.

Key words: thin film interference; demonstration; surface intension; the curtain