

自制鲁本斯火焰管在声学教学中的应用研究

杨景辉 张俊玲 苏海洋 朱一凡

(中国人民武装警察部队学院基础部 河北 廊坊 065000)

(收稿日期:2017-03-23)

摘要:为了直观地演示声波的有关实验现象,实现声驻波的可视化,制作了一个鲁本斯火焰管演示仪器用于实验教学,并就声压和频率对火焰高度和位置的影响进行了分析和研究,实验发现火焰形状与声波波形相对应,并且呈现出高频动态变化的特征.

关键词:鲁本斯火焰管 声驻波 声速 演示实验

1 引言

声音是一种常见的物理现象,各种各样的发声装置使得声音表现出丰富的物理特征,研究和探索声波的相关原理和性质在大学物理教学中占有重要的地位^[1,2].但是与其他机械波如水波或绳波不同,声波看不见摸不着,在课堂教学中不容易给学生建立直观的物理图景,复杂的声学概念需要学生具备一定的抽象思维能力才能够理解.为了实现声音的可视化,1866年德国科学家昆特发明一种装置将木屑或细粉末填充在透明玻璃管中来展现声波的装置,该装置使用音叉驱动空气中的声波,在波腹处可以观察到木屑和细粉末的抖动^[3].1904年德国物理学家海因里希·鲁本斯受到昆特管的启发设计了另外一种可以展现声波的实验装置鲁本斯火焰管^[4].鲁本斯火焰管又称驻波火焰管类似示波仪,可以通过火焰的高度变化直观地展现声波的波形变化趋势.

在大学物理实验中,通常利用共鸣管或超声波对声波现象进行展示研究^[1,5],但是这些实验仪器集成度高,操作简单,学生介入实验的深度不够,不利于提高学生的实际动手能力,对培养和锻炼学生严谨的科学思维能力的的作用有限.

本文介绍了一件学生自己动手制作的鲁本斯火焰管教学演示仪器,不但可以利用火焰的高度变化直观地展示声驻波的波形等特征,并且能够对声波声压、振幅和频率等参数对火焰高度的影响做进一步地研究和探索.

2 实验原理与设计

鲁本斯火焰管是一个可以用来研究声驻波性质的金属管子,管子上通常需要钻出很多等间距排列的小孔,管子的一端封闭另一端导入声波,当导入特定频率的声波时在管内会形成驻波.在管内通入可燃性气体并点燃时火焰的高度会随着管内气压的波动而呈现出有规律的变化,通常认为在声压波腹处气体的浓度大、流速快火焰的高度较高,而相反在声压波节处气体的浓度小、流速慢火焰的高度较低,利用这个装置可以实现声波波动的可视化^[4].此外,当导入的声波是没有固定频率的音乐时,从鲁本斯火焰管小孔中喷出的火焰将会随着音乐的节奏有规律地舞蹈^[6].

为了观察和研究声驻波,我们指导学生自己制作鲁本斯火焰管实验装置.火焰管是长度2.000 m,直径100.0 mm,厚度3.00 mm的钢管,在钢管上加工出一排直径为2.00 mm,间距为15.00 mm的小孔.钢管的一端使用厚度为5.00 mm的厚玻璃板(培养皿)封闭作为声波的反射端使用,另一端使用高弹性橡胶薄膜(医用手套)封闭,声波由此导入.可燃气体选择液化石油气使用专业钢瓶封装,实验时将一个功率为12 W的扬声器紧贴鲁本斯管的橡胶薄膜放置,必要时使用密封胶带固定.实验时首先接通气源,点燃火焰,然后通过Adobe Audition软件控制扬声器发出一定频率和强度的声音导入鲁本斯管,观察小孔中产生火焰的形状和特点,研究声驻波的现象和性质^[4].



图1 自制鲁本斯火焰管装置图

(火焰管为长 2.000 m, 直径 100.0 mm, 厚度 3.00 mm 的钢管, 在钢管上加工出一排直径为 2.00 mm, 间距为 15.00 mm 的小孔)

3 数据分析

3.1 声压对火焰的影响

由流体力学可知, 当气体的流速较小时, 流态只有层流没有湍流, 此时火焰的高度与流速近似成正比, 即 $h \propto v$. 由伯努利原理可知气体的流速

$$v \propto \sqrt{\frac{p_1}{p_2}}$$

其中 p_1 为管内气压, p_2 为管外气压, 其中管外气压 p_2 为常数. 根据声波理论, 声波在均匀有限长管内形成驻波时, 总的声压为

$$p = 2p_i \left| \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}x\right) \right| e^{j(\omega t)}$$

其中 p_i 为入射声波的振幅. 设空气中声压为 p_0 , 定义参考声压值 $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$, 声压级

$$\text{SPL} = 20 \lg\left(\frac{p}{p_0}\right)$$

则声压

$$p = 20 \times 10^{\frac{\text{SPL}}{20}} \mu\text{Pa}$$

由此

$$h \propto \sqrt{\frac{p + p_0}{p_0}}^{[2]}$$

如图 2 和图 3 所示, 在没有声源输入时调节进气量使火焰高度为 1.00 cm, 此时环境噪声声压级为 35.6 dB. 随着声压级的提高, 火焰的高度也跟着一起增加.

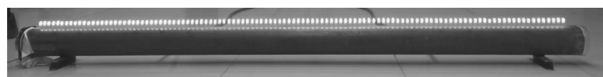


图2 无声波输入时火焰高度图

(环境噪声声压级 35.6 dB, 火焰高度 1.0 cm)

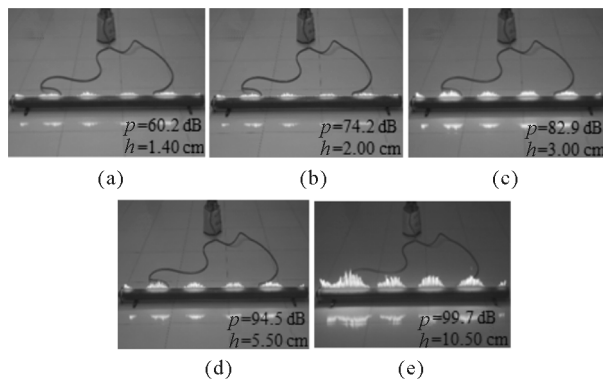


图3 火焰高度随声压变化图

我们以声压为横坐标以火焰高度为纵坐标描绘曲线, 使用公式 $h \propto \sqrt{\frac{p + p_0}{p_0}}$ 拟合, 拟合度 $R^2 = 0.94$, 拟合程度较高, 拟合曲线如图 4 所示.

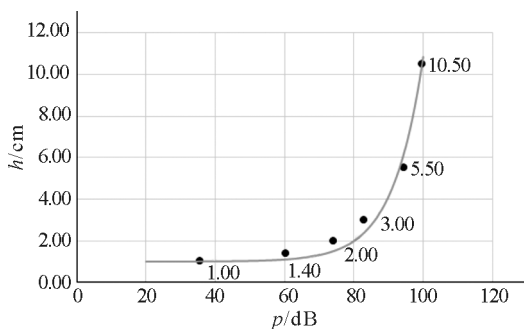


图4 火焰高度随声压变化曲线图

3.2 频率对火焰的影响

在实验中控制音量不变, 将频率逐渐增大, 发现火焰高度变化的周期逐渐变小, 与相应声波的半波长对应, 火焰高度变化的规律如图 5 所示.

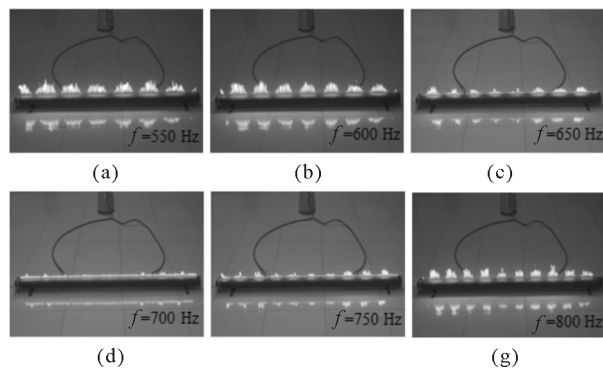


图5 火焰周期随频率变化图

按照波动理论, 声波在鲁本斯管内部形成驻波时, 相邻波腹(或波节)的距离等于声波波长值的一半 $\frac{\lambda}{2}$, 测量相邻两个火焰最高点或最低点之间的距

对“用双缝干涉测量光的波长”实验仪器的改进

丁祖堂

(海盐元济高级中学 浙江 嘉兴 314300)

龚兴林

(海盐高级中学 浙江 嘉兴 314300)

王建峰

(海盐元济高级中学 浙江 嘉兴 314300)

(收稿日期:2017-04-02)

摘要:从目前高中物理“实验:用双缝干涉测量光的波长”实验仪器所产生的问题出发,对实验装置进行了系列改进,实现了本实验所要达成的教学目标.利用改进后的实验仪器进行实验操作,将进一步提升学生的实验素养.

关键词:实验改进 双缝干涉 干涉图样呈现系统

“实验:用双缝干涉测量光的波长”是人教版教材高中《物理·选修3-4》第十三章“光”中的第4节内容.实验所采用J2515型的装置(如图1所示),通

离即得该声波的波长 λ 值.由波长 λ 值与声波频率 f 的乘积还可以求得声速 c .在实验过程中我们测量了一组声波波长与频率的数据,发现声速随着频率的增加有逐渐增大的趋势,如表1所示.根据声学原理可知,声速会随着温度的增加而逐渐增大,声速与温度的关系满足公式 $c = \sqrt{RT}$,其中 R 是理想气体常数.在实验的过程中液化石油气燃烧释放出大量的热量逐渐累积使鲁本斯管内气体的温度升高,造成声速越来越大^[2].

表1 频率、波长和声速关系表

f/Hz	550	600	650	700	750	800
λ/cm	31.0	28.6	26.5	24.7	23.1	21.7
$c/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	341.0	343.2	344.5	345.8	346.5	347.2

此外,我们还注意到当声波频率提高到700 Hz左右时,管体出现明显地共振现象,火焰的周期性现象趋于消失.由此可以判断该金属管材的固有频率在700 Hz左右,当输入声波频率与其固有频率相当时,产生了机械共振现象,鲁本斯火焰管出现了大振幅的振动不再是一个稳定的系统,可燃气体的压力分布趋于均匀,火焰高度的周期性变化减弱不再明显.

过本节内容的学习,旨在达成以下目标:

- (1) 知道实验装置的构成及各器材的作用;
- (2) 会调节实验装置并观察白光及单色光的双

4 总结

设计和制造了一个可用于实验教学的鲁本斯火焰管并对声波现象进行了研究,实验发现火焰的高度随升压的变化有规律的增加,火焰的形状与驻波的形状相对应,随着实验的进行波速有逐渐变大的趋势,这与热量的积累造成可燃气体温度升高有关.

参考文献

- 1 张志芹,张俊玲,刘晓彬,等.大学物理实验.北京:公安大学出版社,2015.98
- 2 杜功焕,朱哲民,龚秀芬.声学基础.南京:南京大学出版社,2002.148
- 3 Kundt, August. Acoustic Experiments. The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science. 1866,35(4):41~48
- 4 H. Rubens. Demonstration stehender Schallwellen durch Manometer flammen. Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, 1904(30):351~354
- 5 李学慧,高峰,孙炳全,等.大学物理实验.北京:高等教育出版社,2006.224
- 6 H. Daw. The normal mode structure on the two-dimensional flame table. Am. J. Phys. 1988(56):913