Vol. 42 No. 11 Nov. ,2022

文章编号:1005-4642(2022)11-0032-05

基于驻极体麦克风的光压力演示装置

韩献祺^a,吴丽君^b,李嘉欣^a,平宇哲^a

(沈阳理工大学 a. 装备工程学院; b. 理学院, 辽宁 沈阳 110159)

摘 要:基于驻极体麦克风设计制作了验证及演示光压力的实验装置.将机械调制后的激光照射在驻极体麦克风的膜片上,膜片产生有规律的形变,产生的电压信号由麦克风输出.电压信号经过放大,通过观察示波器的波形变化或 万用表的指针摆动,验证并演示了光产生压力的现象.该演示装置将光压转换为声压,间接实测量光压,而且无需真空 条件,零件模块化,操作简单.

关键词:光压;驻极体麦克风;声压 中图分类号:O431.1 文献标识码:A

DOI:10.19655/j. cnki.1005-4642.2022.11.005

1864年,麦克斯韦首次提出光压力,即光照 射在物体上会产生压力.光对被照射物体单位面 积上所施加的压力为光压,亦称为辐射压强^[1]. 1901年,俄国物理学家彼得·尼古拉耶维奇·列 别捷夫首次通过实验测量出固体所受到的光 压^[2]. 若太阳光垂直照射在没有大气的地面上, 并被地面全部吸收,地面受到的压强为4.7× 10^{-6} N/m². 光压是很微小的量, 一般为 10^{-7} ~ 10⁻⁶ Pa. 光压虽小,但却会影响航天器的飞行轨 迹[3],还可以作为动力推进航天器[4],并能测量高 功率激光^[5].目前,光压的测量方法有扭秤法^[6]、 压电晶体法[7]、平板电容法、薄膜法、液体法等[8]. 美国物理学家尼科尔斯和哈尔分别用精密实验测 定了光的压力,但这些实验原理复杂、成本高,需 要高真空度,对实验条件要求十分严格,操作难度 较大[9].

本文设计并制作了利用驻极体麦克风验证 光压力的实验装置.此装置具有无需真空条件、 实验操作简单、测量结果显示度高、零件模块化、 方便维修与更换等优点,可用于科普实验现象演 示和物理实验教学.

1 实验方案

1.1 实验简述

单位面积上光所施加的压力,是光的压强;声 压是传声介质的压强变化量,是声的压强.光压 与声压同为压强,可将光压类比为声压.使用声 电转换元件——驻极体麦克风,将光压转变成电 信号输出,再利用放大器放大信号,最后用示波器 或指针式万用表测量信号.

图 1 为实验装置的原理示意图.



图 1 实验装置的原理示意图

1.2 实验原理

压力会使物体产生形变,因此可以通过测量 形变来证明有压力施加在物体上.声压是易于测

收稿日期:2022-05-13;修改日期:2022-09-03

基金项目:教育部 2021 年第二批产学合作协同育人项目(No. 202102569009);2020 年沈阳理工大学"课程思政"专项 课题《物理实验》;2021 年度沈阳理工大学虚拟教研室建设项目(No. XBKXNJYS-2021-25);2020 年辽宁省 一流本科课程《物理实验》建设项目;2020 年沈阳理工大学一流本科课程《物理实验》建设项目

作者简介:韩献祺(2001-),男,山东东平人,沈阳理工大学装备工程学院 2019 级本科生. E-mail:2308341943@qq. com

通讯作者:吴丽君(1979-),女,辽宁沈阳人,沈阳理工大学理学院副教授,博士,从事低维光电材料结构与电子性质原子尺度研究. E-mail:wulijun20070915@163.com

量的量,生活中检测声压的常用元件是驻极体麦 克风. 但是,光压是很微小的量,很难直接测量. 本实验用光压替换声压,作用于驻极体麦克风上, 从而间接实现对光压的测量.

驻极体麦克风的结构如图 2 所示,其中,最关键的元件是驻极体振动膜与金属背电极,二者构成电容器.



1.金属背电极 2.驻极体 3.防尘隔膜 4.音(气)孔
 5.金属垫圈 6.场效应管 7.单面敷铜板 8.引脚
 9.金属外壳 10.塑料支架
 图 2 驻极体麦克风的结构

驻极体振动膜是1片被金属化了的聚合物膜 (或者直接用超薄金属膜)^[10].再经过驻极,在膜 中永久留下电荷,且保持恒定,故驻极体振动膜与 金属背电极构成的电容器具有一定量的电荷.

为了能让光直接照射在驻极体麦克风的膜片上,将其上面的防尘隔膜去掉,直接露出下面的小 孔.当光通过小孔照射在驻极体麦克风的膜片上 时,光对膜片施加微小的力,使膜片产生微小的形 变,膜片与金属背电极之间的距离变小.

电容的决定式为

$$C = \frac{\varepsilon_{\rm r} S}{4\pi k d},\tag{1}$$

其中,C为电容,ε,为相对介电常量,S为电容极 板的正对面积,d为电容极板间的距离,k为静电 力常量.驻极体麦克风的电介质是空气,极板面 积恒定,所以除极板间距离 d外,其余均为不变 量.当d变小时,由式(1)可知,电容会增大.

电容的定义式为

$$C = Q/U, \qquad (2)$$

其中,Q为电荷量,U为电压.因驻极体振动膜经 过驻极后带有一定量的电荷,由式(2)可知,电容 增大,电压减小.若膜以某个频率振动就会产生 周期变化的电压信号,再经过场效应管放大,即可 得到驻极体麦克风输出的电信号,但是此信号仍 然很微弱,因此需要二次放大才可被检测到.

1.3 可行性分析

因光压的值过小,所以需要验证驻极体麦克 风的灵敏度能否达到要求.通过将光压转换为声 压来验证.

声压级的数学表达式为

$$L_{p} = 20 \lg \frac{p}{p_{0}}, \qquad (3)$$

其中, L_p 为声压级,单位为 dB; p_0 为参考声压,其 值为 2×10⁻⁵ Pa;p 为被测声压的有效值,单位为 Pa^[11].已知光压的大小一般为 10⁻⁷~10⁻⁶ Pa^[1], 将其作为被测声压的有效值 p,代入式(3),得到 结果为-46.02~-26.02 dB. 计算得到的声压 级在驻极体麦克风的灵敏度(-48~66 dB)范围 内.此时得到的是压强,要得到压力,需乘以光源 照射在膜片上的面积.故驻极体麦克风可以作为 感受光压力的元件.

选择合适的光源也是使实验现象明显的重点 之一.激光具有定向发光、颜色极纯的特性.相 较于其他光源,选用激光作为光源可以获得固定 频率并且接近平行的光线.固定频率可以使激光 产生的光压力恒定,激光的定向发光可以将光全 部照射在麦克风的膜片上.故选用激光作为实验 光源.

声音是机械波,光是同时具有波动性和粒子 性的电磁波.驻极体麦克风是接收声波的元件, 有一定的声波接收面积,只能接收光的粒子性所 产生的作用力.在使用激光照射时,激光的作用 面积比声波的作用面积小,甚至是1个点.虽然 作用面积和波的类型不同,但是其根本原理是电 容,根据式(1),麦克风的电容变化只与极板间距 离*d*有关,而距离的变化是作用在膜片上的力使 膜片产生了形变引起的,无论力均匀施加在一定 面积上还是1个点上,最终的作用效果相同,且本 装置只进行定性测量,只要作用效果相同就不会 对测量结果有所影响.

驻极体麦克风采集声音时,声音使膜片不断 振动,不断改变驻极体振动膜与金属背电极之间 的距离,进而改变电容来产生电压信号.而光波 不能让振动膜不断振动,只能使膜片发生形变,形 变稳定后麦克风的电容不变,因而麦克风只会在 光照射的瞬间产生信号,不会连续产生信号,不容 易观察实验现象.因此,使用遮光片将激光进行 机械调制,让光以间断的形式照射,即让驻极体振 动膜间断性受到压力,模拟声波驱动膜片的方式, 使膜片以一定的规律振动,进而输出特定形式的 信号.驻极体麦克风是采集声音的元件,只要麦 克风采集到外界的噪声,示波器就会显示出噪声 的波形.用机械调制后的光照射麦克风,得到特 定形式的信号,可以有效区分出噪声与光推动膜 片产生的信号,排除外界稳定噪声的影响.

2 演示实验装置

实验装置主体如图 3 所示,由驻极体麦克风、 LM386 驻极体麦克风放大板、遮光片(通过添加 配重,使 3 片遮光片的质量相同)、步进电机及驱 动器、单片机、降压模块、12 V 电源、示波器、激光 笔[(532±10) nm]、指针式万用表构成.



1.步进电机驱动器 2.激光笔 3.步进电机
 4.遮光片 5.驻极体麦克风 6.放大板
 7.降压模块 8.单片机
 图 3 实验装置主体实物图

实验装置由 12 V 电源供电,在步进电机上安 装遮光片,单片机控制步进电机转动,让激光以一 定时间间隔照向驻极体麦克风.驻极体麦克风被 激光照射后产生信号,信号经过放大板放大 20 倍 左右,得到输出信号.此装置在较为安静的室内 即可操作,与常见的光压验证装置光压风车相比, 没有对真空度的要求,装置成本低,不会受到阻力 的影响,且结构简单、易组装、零件模块化,方便后 期维修及改造升级.

3 实 验

分别采用示波器和指针式万用表观测实验现 象.预期效果为:光推动了驻极体麦克风的膜片, 通过示波器观测类似正弦波的信号,或者观察到 万用表的指针左右摆动.

3.1 实验过程与现象

1)只打开激光笔.在打开激光笔的瞬间,示 波器的波形会出现微小的抖动,而后恢复为初始 状态(1条平滑的直线);万用表的指针摆动后恢 复静止.

2)只打开电机.接通电机电源,保持电机的 转速恒定(约为90r/min).图4所示为示波器显 示的波形,用万用表测量时指针保持稳定.



图 4 未加光照的波形

3)同时打开激光笔与电机.用不同疏密程 度的遮光片分别遮光,激光光路与遮光片中心的 距离约为 30 mm.实验采用如图 5 所示的 3 种遮 光片,具体参量见表 1.



(a) 1 号遮光片(b) 2 号遮光片(c) 3 号遮光片图 5 不同疏密程度的遮光片

表1 3种遮光片的参量

遮光片编号	透光距离/mm	不透光距离/mm
1	21	10
2	9	10
3	6	10

用示波器测量遮光片的波形,如图 6 所示. 用万用表测量,1 号遮光片指针左右摆动速率慢, 摆动幅度大;2 号遮光片指针左右摆动速率较快, 摆动幅度较小;3 号遮光片指针左右摆动速率最快,摆动幅度最小.











(c)3 号遮光片 图 6 示波器测得各遮光片的波形

3.2 结果分析

1) 有光照且遮光片静止时, 光只是推动了驻 极体麦克风的膜片, 但是不能使其振动, 实验现象 不明显.

2) 无光照且遮光片转动时, 示波器显示噪声

的波形,噪声的来源为电机转动时震动所产生的 声音.噪声的信号杂乱且比较微弱,不足以使万 用表的指针摆动.

3) 有光照且遮光片转动时,由图 4 与图 6 对 比可知,在打开激光笔后波形有明显变化,证明波 形的变化不是外界其他因素干扰造成的.观察图 5 和图 6 发现,波形的疏密与遮光片的疏密有关; 万用表指针摆动幅度也与遮光片的疏密有关.

电机的转速为 90 r/min,转动 1 周的时间约 为 0.67 s. 3 种遮光片的叶片数量分别为:1 号 6 个,2 号 10 个,3 号 12 个.用叶片数除以转 1 周 的时间来计算遮挡频率,得到遮挡频率分别约为: 1 号8.96 Hz,2 号 14.93 Hz,3 号 17.91 Hz.理 论上示波器测得波形的频率应该与此接近.

图 6 中示波器的左下角显示的频率为:1 号 9.14 Hz,2 号 15.1 Hz,3 号 18.4 Hz,与理论计 算的频率相差不大,且未加光照的波形频率为 415 Hz,与光照后的波形频率相差很大,故可以 说明光的照射与波形的变化相关.

综上所述,遮光片的疏密与示波器显示波形 的疏密和万用表指针摆动幅度大小、速率慢快相 关.遮光片越密,波形越密,摆动幅度越小,速率 越快.可以证明:光照射在驻极体麦克风的膜片 上使膜片产生了形变,在遮光片间断遮挡下,光使 膜片间断发生形变,形成正弦波,与预想结果相 同.由此证明了光压力的存在.

4 结束语

本文设计了无需真空条件、实验操作简单、测量结果显示度高的验证光压力的实验装置.用此 装置对光压力进行定性测量,光照射到驻极体麦 克风膜片产生信号的变化可以证明光的确推动了 驻极体麦克风的膜片,使其发生形变,因此得出光 是有压力的.实验演示结果表明:该装置可以排 除外界因素的干扰,实现对光压力的演示与测量, 适用于科普实验现象演示和物理实验教学.

参考文献:

- [1] 胡滨,陈杰,潘玮,等. 真伪"光压风车"之辨析[J]. 物理通报,2011(8):84-86.
- [2] 郑华熾. Π. H. 列别捷夫的光压实验[J]. 物理通 报,1956(3):148-151.
- [3] 韩意,陈明,段成林,等. 航天器太阳光压面积影响

因素仿真分析[J]. 深空探测学报,2020,7(3):297-303.

- [4] 张敏贵,陈祖奎,靳爱国.太阳帆推进[J].火箭推进,2005,31(3):35-38.
- [5] 孙青,马冲,林延东,等. 基于光压原理的高功率激 光测量装置[J]. 中国激光,2021,48(3):192-194.
- [6] 刘泽刚,黄耿石,李振柱,等. 基于谐振的光压测量 [J]. 物理实验,2017,37(1):1-6,12.
- [7] 龙腾,赵改清,杜炳清,等. 应用压电陶瓷测量光压 [J]. 物理实验,2016,36(11):20-22.

- [8] 宋乐,王玉瑾,郑叶龙. 光压的测量方法现状及发展 趋势[J]. 计量学报,2019,40(1):117-123.
- [9] 林炯,谢佳青,高伟康,等. 基于磁场电流的一种等 效测量光压方法[J]. 甘肃科技纵横,2016,45(8): 65-68.
- [10] 吴宗汉,徐世和.从驻极体传声器到驻极体扬声器 的发展[C]//2009年电声行业专家组会议论文集. 嵊州,2009:22-35.
- [11] 钟国策. 声级计和驻极体电容传声器[J]. 环境技术,1997(2):35-41.

Light pressure verification device using electret microphone

HAN Xian-qi^a, WU Li-jun^b, LI Jia-xin^a, PING Yu-zhe^a
(a. School of Equipment Engineering; b. School of Science, Shenyang Ligong University, Shenyang 110159, China)

Abstract: An experimental device for verification and demonstration of light pressure was designed based on electret microphone. When the mechanically modulated laser irradiated the diaphragm of the electret microphone, the diaphragm deformed regularly and the resulting voltage signal was output by the microphone. The phenomenon of light pressure was verified and demonstrated by observing oscilloscope waveform change or multimeter pointer swing after the voltage signal was amplified. The demonstration device indirectly measured light pressure by converting light signal into sound signal, which had the advantages of modular parts and simple operation, and not requiring vacuum condition.

Key words: light pressure; electret microphone; sound pressure

[责任编辑:任德香]

(上接 31 页)

Irreversible sinking of Cartesian diver under pressurized conditions

OU-YANG Yan-yan, CHEN Jing, CHEN Zong-qiang, KONG Yong-fa (School of Physics, Nankai University, Tianjin 300071, China)

Abstract: The phenomenon of irreversible sinking of the Cartesian diver under pressurized conditions was studied. The critical position of unstable equilibrium was found existed in liquid. From the point of view of force, it was impossible to increase the buoyancy by increasing the gas volume when Cartesian diver was completely immersed. From the point of view of potential energy, the critical position was the very unstable equilibrium point. The irreversible equilibrium point would change with the changing the pressure, resulting in the irreversible sinking. The relationships between the critical depth of the irreversible sinking and the length of the air column, the liquid density, the ratio of the outer diameter to the inner diameter of the test tube and the total length of the tube were studied experimentally, and the intuitive explanation of the experimental phenomenon was given.

Key words: Cartesian diver; irreversible sinking; critical depth; IYPT

[责任编辑:任德香]