

文章编号:1005-4642(2022)08-0054-05



机械振动与机械波多功能演示装置

余舒雯¹, 罗星凯²

(1. 北京师范大学 教育学部, 北京 100875;

2. 广西师范大学 物理科学与技术学院, 广西 桂林 541004)

摘 要:根据振动和波动之间的联系和区别,通过真实的振源将“横波演示器”和“简谐振动图像演示仪”2 个实验装置进行整合改进,研制出机械振动与机械波多功能演示装置. 该装置可以同时演示机械振动和机械波教学中的多个关键实验,具有直观、形象、易于操作的优点,有助于学生更好地理解机械振动和机械波的概念,降低准确掌握二者联系与区别的教学难度.

关键词:机械振动;机械波;示波管

中图分类号:G633.7

文献标识码:A

DOI:10.19655/j.cnki.1005-4642.2022.08.009

在机械波的实际教学中,由于相关概念较为抽象复杂,学生生活中的直观经验又经常流于表面,引导学生建立起正确的机械波概念以及理解机械振动和机械波之间的联系与区别,成为教学的重点和难点,研发效果明显的演示实验装置,也是众多实验研究者的兴趣所在.

“横波演示器”^[1]的振源采用真实的摆,媒质中的各点之间真实存在相互作用的力,所以该装置产生的横波也是真实的,进而可以演示许多关于波的实验现象. 该装置具有真实、直观、形象的特点,通过该装置来演示教学内容学生易于掌握. 而“简谐运动图像演示仪”^[2]是通过振动的单摆中不断喷射出墨水,在被匀速直线拉动的底板上记录简谐振动的图像. 该方法的好处是用推拉注射器来控制振动图像的描绘,有效实现了振动体和记录体的分离,且振动体质量稳定,具有操作简便、可控性强的优点.

在上述工作基础上,本文将横波演示器和简谐振动图像演示仪巧妙结合,并进行改进,研制出机械振动与机械波多功能演示装置. 该装置有利于学生更好地理解机械振动和机械波的概念,降

低准确掌握二者联系与区别的难度,同时该装置还能用于辅助示波器相关内容的教学.

1 教具制作

实验器材:1.4 m 长的钢轴、光盘、木板、轴承、航模橡筋、竹签、泡沫球、铁砂、水泥、海绵、注射器、水写布(清水显墨、可多次书写)、电机、螺母、锂电池、滑动变阻器、开关、导线等.

以上材料均为生活中的普通物品,不仅具有简便、直观、亲切等优点,还有利于提高学生的动手能力,培养学生的实验技能和创新意识^[3].

实验装置模型图如图 1 所示,该装置可同时演示机械振动和机械波,具体结构分为 2 部分.

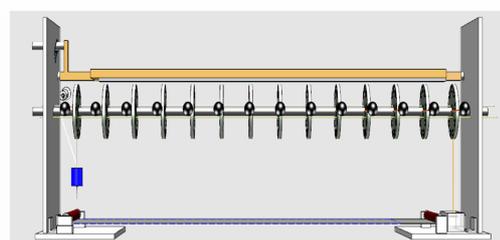


图 1 装置模型图

收稿日期:2022-03-30;**修改日期:**2022-04-28

基金项目:中国基础教育质量监测协同创新中心初中科学素养测评与诊断改进项目(No. RH2000002694)

作者简介:余舒雯(1998—),女,浙江衢州人,北京师范大学教育学部科学与技术教育专业 2021 级硕士研究生,研究方向为科学教育. E-mail:1343375288@qq.com

通信作者:罗星凯(1958—),男,湖南新邵人,广西师范大学物理科学与技术学院教授,研究方向为科学教育和物理教育. E-mail:xingkailuo@vip.163.com

1.1 机械振动部分

图 2 所示的摆球为铁砂混水泥浇筑而成, 竖直插入的吸管和细铁棒分别用于连接医用输液软管、针头和转盘. 转盘中间装有直径为 1.50 cm 的轴承, 与钢轴相连, 可以最大程度减少能量损耗. 制作形成的摆是可绕定轴转动的刚体, 即物理摆, 其总质量为 590 g (制作时可根据实际情况选用密度更大的铅砂), 摆长为 13 cm. 装置底部为承接振动图像的水写布, 由 10 Ω 的滑动变阻器、开关、12 V 锂电池以及 2 个电机串联共同控制, 可实现速度可控、即时开关的功能.

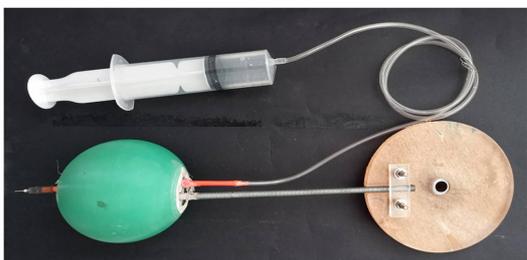


图 2 机械振动的振源

1.2 机械波部分

机械波部分的底座和两侧侧板均为木制; 振杆盘由废弃的旧光盘(约 20 个)组成, 其中每个光盘中心孔处装有相同直径的轴承, 盘面上均匀嵌 10 个螺母, 如图 3 所示. 此外, 光盘上粘有带泡沫球的竹签, 并在光盘中心孔两侧打 2 个适合橡皮筋的圆孔; 用航空模橡筋作为传播介质将各个振杆盘依次连接. 用物理摆作为振源, 当出现波的反射后即会出现波的干涉现象. 为了减小反射波对波形效果的影响, 装置末端的振杆盘上安装有阻尼装置; 在圆盘下垂挂圆形亚克力板, 将其放入盛有水的杯中, 利用亚克力板在水中运动消耗能量, 减少反射波的影响.

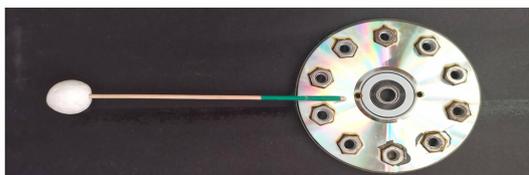


图 3 机械波的振杆盘

机械波的演示主要由摆锤的振动带动第 1 个光盘转动, 通过穿过 1 组光盘的航空橡筋将扭动依次传递给各个光盘, 从而在整体上产生波动的效果. 由于光盘的沿盘面在直径方向上装有起放

大作用的振杆, 光盘小幅度的扭转摆动得到了放大, 对于安装在振杆顶端的泡沫球来说, 所表现的是一排质点依次上下振动产生的波动.

1.3 实验装置的制作

制作过程步骤为:

1) 制作振杆盘. 用激光雕刻机在光盘靠近圆心处对称地打出 2 个孔, 同时在光盘外围对称打出 10 个孔(孔的大小、形状由配重物决定, 本装置用的是螺母), 在每个孔中嵌入螺母, 目的是增大光盘的质量从而提高其转动惯量, 使波速降低, 波动现象更加明显. 将轴承固定在光盘圆心处, 轴承内径大小与钢轴直径相适应, 在竹签(振杆)末端套上泡沫球(振子), 用热熔胶将套好泡沫球的竹签固定在振杆盘上.

2) 组装. 将制作好的振杆盘等间距地固定在钢轴上, 并将装有注射器和针头的物理摆(图 2)放在最前端, 作为振源.

3) 调平. 将振杆盘穿过钢轴, 观察振杆盘的振杆是否水平, 若不水平, 则在合适的螺母处增加螺栓使其平衡. 逐个调试, 直到所有的振杆盘上的泡沫球都在同一水平线上, 得到机械振动与机械波多功能演示装置如图 4 所示.



图 4 机械振动与机械波多功能演示装置

2 使用方法

2.1 在机械振动教学中的应用

机械振动是比较复杂的机械运动. 学生之前学习的运动形式有匀速直线运动、匀变速直线运动和匀速圆周运动, 但机械振动是加速度的大小和方向都在改变的运动, 鉴于中学生的数学知识有限和机械振动的复杂性, 机械振动的教学难度相对较大. 利用该教具可以帮助学生理解机械振动. 具体教学应用过程如下:

1) 摆锤静止在平衡位置, 按压装有清水的注射器, 针头开始出水, 启动电机, 水写布开始运动.

一段时间后,可观察到水写布上有一段水平方向的直线,如图 5 所示. 引导学生由公式 $t=s/v$ 推导出,当 v 恒定时可用 s (直线轨迹) 的改变来描述时间 t 的变化,这将抽象的时间变化转化为直观的水平位置的变化.



图 5 水平直线轨迹

2) 关闭电机,水写布静止,振动摆锤,待振动稳定后按压装有清水的注射器,针头开始出水. 一段时间后,可观察到水写布上有一段竖直方向的直线,即摆锤的运动轨迹,如图 6 所示.



图 6 竖直直线轨迹

3) 振动摆锤,按压装有清水的注射器,针头开始出水;启动电机,水写布开始运动. 一段时间后,可观察到摆锤在水写布上的振动图像,如图 7 所示. 结合 1)~2),可帮助学生理解振动图像的物理意义:所建坐标系中,振动图像横轴表示时间,纵轴表示振子振动的位移,机械振动的图像是单个振子振动的位移随时间变化的函数图像.

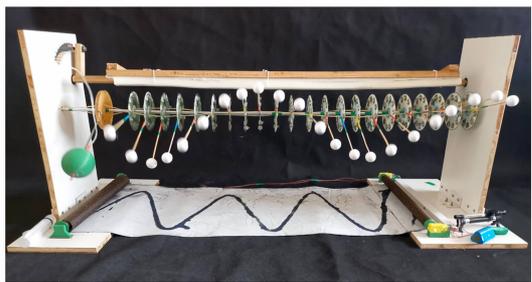


图 7 演示效果图

2.2 在机械波教学中的应用

振动和波动是密切相关又互相区别的 2 种运动形式,了解振动和波动的区别与联系,对建立波的概念有重要作用.

高中机械波部分的教学,主要帮助学生理解机械波的产生和传播过程,其教学重难点具体表现为:a. 在波动中,媒质质点只是在各自的平衡位置附近振动,并不随波迁移;b. 在沿波的传播方向上,媒质质点的运动依次落后;c. 波动图像和振动图像的联系与区别^[4]. 本文装置可以很好地解决以上教学重难点:

1) 单独观察 1 个质点(泡沫球)的振动,可明显观察到该质点只是在平衡位置振动,没有和波一起运动,实验演示的现象可以很好地破解学生已有的前概念(看到波形往前就以为是质点向前运动).

2) 观察相邻 2 个质点的运动,会发现媒质质点的运动依次落后.

3) 学生同时观察到泡沫球整体呈现的波动图像和摆锤在水写布上画的振动图像(见图 7). 联系对振动图像物理意义的学习,学生可以理解振动图像与波动图像的联系与区别为:a. 振动是波动的成因,波动是振动在介质中的传播,因此产生机械波的条件是振动和介质(橡胶);b. 振动是单个质点在平衡位置的往复运动,在波动过程中,每个质点都是在各自的平衡位置附近振动,因此波动是介质中大量质点依次振动形成的;c. 振动图像描述的是单个质点的位移随时间的变化规律,波动图像描述的是某一时刻多个质点的空间分布规律.

此外,从物理量化的角度看,本装置中,机械波的波长和周期均可利用秒表计算. 从某一质点开始振动起到另一质点振动止,用秒表计时、刻度尺测量两质点间的距离,即可求出波速. 同样地,利用累积法可单独计算出单个质点完成多次全振动的时间,即可测出周期. 已知波长和周期,可以算出波速. 同时,通过改变橡胶的松紧程度,可以调节波速. 这几个实验都说明了介质决定波速,振源决定振幅和周期. 另外,该装置还具有“刹车”功能,在光盘上方有 1 条海绵,通过左边的控制手柄,可以将波形固定,如图 8 所示. 在实际教学中,固定波形可以粗略地测出波长、振幅、相位差等物理量.

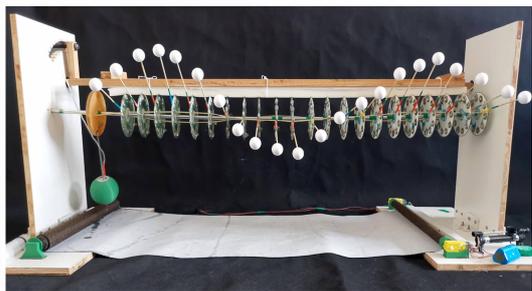


图 8 “刹车”实验效果图

2.3 在示波管教学中的应用

示波管是一维空间中带电粒子的直线加速和二维空间中带电粒子的偏转在具体实践中的应用. 要求学生从机理上理解变化电压下电子在空间的偏转位移如何显示在荧光屏上, 这需要学生具有较高的空间想象能力. 该装置演示的机械振动实验中, 水写布所做的匀速运动可以和示波管中电子扫描结构建立关联, 二者类比能有效帮助学生了解示波管的工作原理.

水写布运动时, 静止的摆锤喷射出的清水留下 1 条直线. 而电子束在加有锯齿波电压(扫描电压)的水平偏转板 XX' 中, 会沿水平方向来回迅速移动, 荧光屏上也将出现 1 条水平的亮直线^[5]. 这 2 种运动在水平方向的位移与时间都成线性关系, 相当于把时间轨迹转化为水平方向的位置轨迹. 将 2 个实验知识建立联系, 把新的实验知识纳入到原有的认知结构中, 在学生的头脑中形成有意义的认知逻辑^[6], 通过教师进一步分析电子束在竖直偏转板 YY' 中的运动, 学生能够了解示波管的工作原理(图 9). 在该教学应用中, 不只是水迹和水写布与电子迹和荧光屏建立联系, 更重要的是运动的水写布与扫描电子之间的有效类比, 给予学生丰富的感性认知, 使学生更好地了解示波管的成像原理.

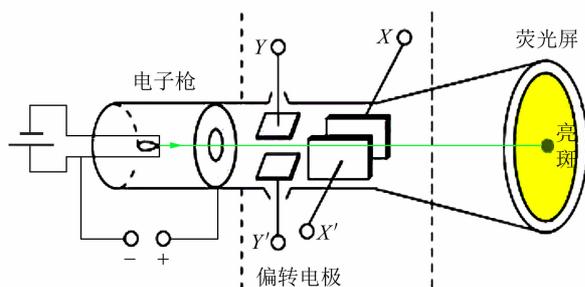


图 9 示波管原理图

3 教具创新点

本装置的创新之处体现在以下方面:

1) 装置不仅能使学生深刻地理解机械振动, 同时将演示机械振动和机械波的 2 个装置相结合, 实现 2 个装置一体化, 形象直观地展现了二者的联系与区别, 降低学生学习的难度.

2) 本实验装置结构简单, 并且使用的真实振源. 实验是物理的先导, 实验仪器应尽可能简单、直观. 在机械振动和机械波的学习中, 需要学生想象多个质点同时又不同步的运动和在其空间的传播, 想象加速度大小和方向都在改变的运动, 对学生的空间想象能力和理解能力有较高的要求. 物理学家麦克斯韦说过, 实验的教育价值常常与仪器的复杂程度成反比. 本装置直观、形象, 易于学生操作, 各质点中存在相互作用力, 产生的是真实的波, 对学生掌握机械波的本质有很大帮助.

3) 该教具还可以用于示波管内容的教学. 装置取材简单, 制作难度较低.

4 结束语

振动图像和波动图像是形式上相似又各具独特物理含义的 2 种图像, 理解这 2 种图像是研究振动的合成和波的叠加的基础^[7]. 简谐运动概念的建立, 体现了从自然现象到物理模型再到物理概念的知识生成过程^[8]. 本文研制的机械振动与机械波多功能演示装置可同时演示机械振动和机械波教学中的多个关键实验, 通过对振动图像和波动图像的比较研究, 可以进一步加深学生对运动图像的理解, 培养学生应用图像分析运动规律的能力.

参考文献:

- [1] 王春长. 横波演示器[J]. 物理实验, 1987, 7(6): 260-262.
- [2] 罗星凯. 简谐运动图像演示仪的设计与制作[J]. 物理实验, 1992, 12(11): 20-21.
- [3] 韦叶平. 随堂实验创新设计的价值与策略研究[J]. 物理教师, 2020, 41(9): 24-27, 31.
- [4] 罗星凯. 中学物理疑难实验专题研究[M]. 桂林: 广西师范大学出版社, 1998: 52.
- [5] 李开玮, 杨斌. “示波器原理与使用”实验教学启发[J]. 科技风, 2020(2): 42.
- [6] 蔡千斌. 核心素养导向的高中物理实验教学策略

- [J]. 物理教师, 2020, 41(1): 27-29, 33.
- [7] 曾乃庆. 谈“机械振动和机械波”一章的教学[J]. 江苏教育, 1983(8): 39-40.
- [8] 付鹏娟. 基于教学逻辑进行教学设计——以人教版“简谐运动”为例[J]. 物理教师, 2021, 42(4): 26-28, 32.

Multi-functional demonstrator of mechanical vibrations and mechanical waves

YU Shu-wen¹, LUO Xing-kai²

1. Faculty of Education, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;
2. College of Physics and Technology, Guangxi Normal University, Guilin 541004, China)

Abstract: According to the connection and difference between vibration and wave, the multi-functional demonstrator of mechanical vibrations and mechanical waves was developed by combining and improving the transverse wave demonstrator and simple harmonic vibration graph demonstrator through a real vibration source. This device could demonstrate several key experiments in the teaching of mechanical vibration and mechanical wave at the same time, which had the advantages of intuition, visualization and easy operation, was helpful to students to better understand the concepts of mechanical vibration and mechanical wave, and reduced the teaching difficulty in mastering accurately the connection and difference between them.

Key words: mechanical vibrations; mechanical waves; oscilloscope tube

[责任编辑:郭 伟]

欢迎订阅 欢迎投稿

《物理实验》是由教育部主管、东北师范大学主办的学术期刊,是教育部高等学校物理学类专业教学指导委员会会刊,是中国高等学校实验物理教学研究会副秘书长单位,是高等学校物理演示实验教学研究会常务理事单位。本刊宗旨主要是交流物理实验研究成果,介绍国内外物理实验教学经验,培养读者的科学精神与创新能力,引领我国物理实验教学的改革与发展。杂志着重刊载对物理实验教学改革与发展具有前瞻性,对实验教学的具体问题具有指导性,对新科技成果应用于实验教学具有深度融合性,对传统实验内容具有拓展性和创新性的论文。目前开设的主要栏目有:前沿导读、近代与综合实验、扩展与应用、普通物理实验、教学论坛、专题、互联网+物理、学生园地、基础教育等。《物理实验》适合于物理实验工作者、理工科学生以及教学仪器研制技术人员阅读。

《物理实验》为月刊,全国各地邮局均可订阅,邮发代号为 12-44。若错过邮局订阅时间,可直接与编辑部联系。

物理实验杂志