

向心加速度演示仪设计制作与教学应用^①

吴东兴¹, 米望琛¹, 熊子天²,
巫玟桐², 孙元赞², 李韵寒², 陈晓莉¹

1. 西南大学 物理科学与技术学院, 重庆 400715; 2. 重庆市南开中学校, 重庆 400300

摘要: 设计了由动力单元、调速单元、测速单元和测角度单元组成的实验装置, 介绍了装置的组成与原理、教学应用方法及实验结果. 该装置不但能形象直观地演示在匀速圆周运动中, 向心加速度与角速度和半径的定性关系, 而且可以定量验证匀速圆周运动向心加速度计算式 $a = \omega^2 r$ 的正确性, 从而加深学生对公式 $a = \omega^2 r$ 的理解与记忆.

关键词: 向心加速度; 演示仪; 设计制作; 应用

中图分类号: G633.7

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2019)05-0041-04

做匀速圆周运动的物体其速度大小不变但方向时刻在改变, 故其也是一种变速运动, 因而存在加速度, 称之为向心加速度, 产生向心加速度的力称为向心力. 现行高中物理人教版教材是先学习向心加速度再学习向心力. 对于“向心加速度”这个物理量的大小如何计算, 教材上只有“进一步分析表明”这简单几个字, 便直接给出向心加速度的计算公式, 详细的推导过程则出现在“做一做”的小字部分, 并且推导过程运用了极限、微分等超过高中生知识范围的大学数学知识^[1], 使得中学生难以理解一些关键的推导步骤, 从而给中学物理教学带来极大的困难.

目前演示向心力大小的实验仪器较多^[2-4], 而演示向心加速度大小的仪器几乎没有. 文献[1]介绍的实验装置只能定性演示向心加速度的大小与哪些因素有关, 不能定量演示或探究向心加速度计算式, 为了帮助学生理解向心加速度公式的由来及意义, 本研究设计制作了一个定量演示向心加速度大小计算公式的实验装置.

1 实验装置组成

在文献[1]实验装置的基础上, 设计了定量演示部分, 图1和图2分别是装置的侧视图和俯视图. 图1中, C为减速马达, AB为一可调节长度的塑料硬直杆, O为杆的中点与马达转轴的连接处. 两根细软导线 L_1 和 L_2 分别将两物体D、E与杆的两端点A、B连接起来, 物体D、E为装在半个乒乓球壳中的吸水纸, 可通过向吸水纸中加水调节物体D、E的质量^[1]. F为PWM调速器, 可用来调节马达的转速. S为测速器, 可用来测定杆AB圆周运动的角速度大小. 当装置转动稳定的时候, 物体D和E与杆AB保持相对静止, 即杆的角速度大小等于物体D和E的角速度大小, 所以测出杆AB的角速度大小, 也就测出了物体D和E的角速度大小.

① 收稿日期: 2017-09-30

基金项目: 西南大学2017年度教育教学改革研究项目(2017JY051); 重庆市第六期青少年创新人才培养雏鹰计划项目(CY170201).

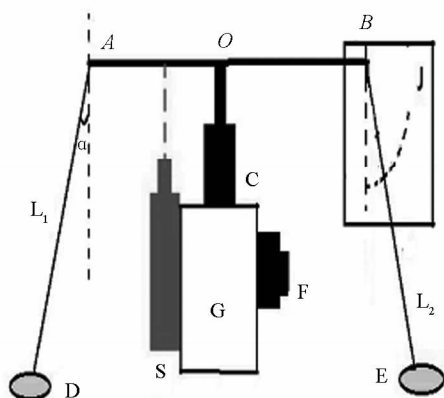
作者简介: 吴东兴(1998-), 男, 大学本科学生, 主要从事物理实验研究.

通信作者: 陈晓莉, 副教授.

2 实验装置原理

2.1 确定运动半径的大小

图 1 中, 设细软导线 L_1 或 L_2 的长度为 l , 当物体 D 和 E 在垂直于纸面的水平面内做匀速圆周运动时, 圆心就在过 O 点的竖直转轴上, 设细软导线 L_1 或 L_2 与竖直方向的夹角为 α , 通过几何关系不难得出物体 D 和 E 做圆周运动半径皆为 $r = \frac{AB}{2} + l \sin \alpha$.



AB 为硬直棒; C 为减速马达, G 为塑料盒, S 为测速器,
F 为调整器, DE 为重物, L_1 和 L_2 为细绳.

图 1 实验装置侧视图

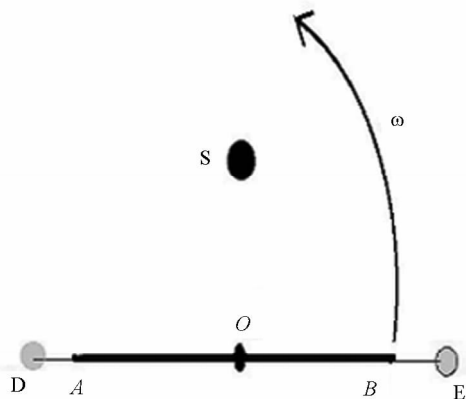


图 2 实验装置俯视图

2.2 测定角速度的大小

运用测速器 S 测得杆 AB 的角速度大小. 测速器 S 的原理和光电门类似, 打开测速器 S 的开关后它将向上发射出一束红色激光, 当杆 AB 运动到它上方的时候, 杆 AB 下方所贴的反光纸将反射测速器 S 发出的激光, 当测速器 S 接收到反射回来的激光光信号后将记次数, 通过两次记次的时间间隔进行换算最终就在显示屏上显示杆 AB 做圆周运动的频率 f . 由于测速时杆 AB 的左右两端都会挡光, 因此测速器 S 上显示的频率是实际频率的两倍. 将测速器上显示的频率除以 2, 再通过频率与角速度的关系 $\omega = 2\pi f$ 即可得到杆 AB 的角速度 ω 大小^[1].

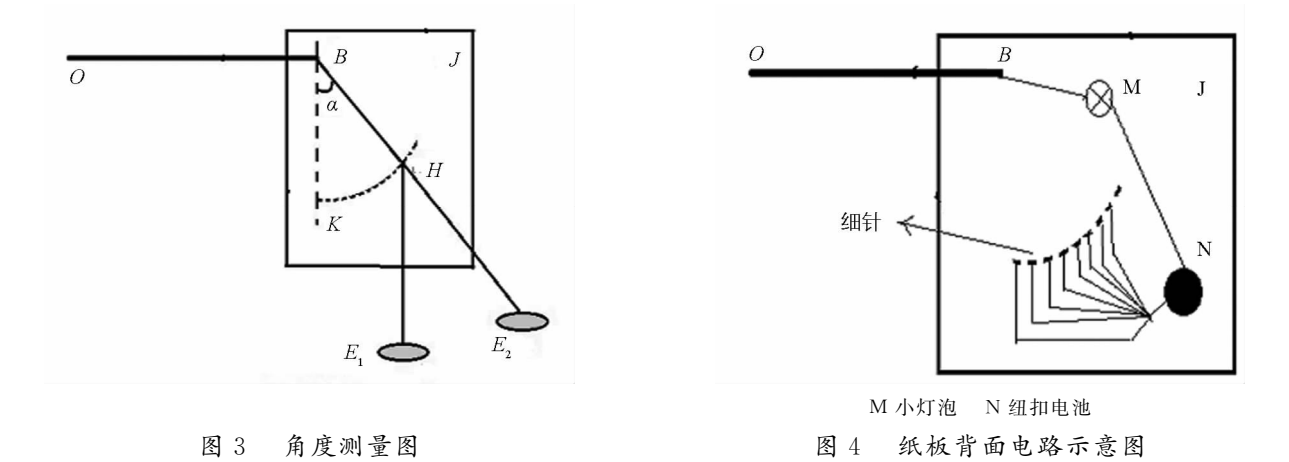
2.3 测定夹角 α 的大小

如图 3 所示, 在右侧杆上固定一轻质纸板 J, 在纸板上以杆的端点 B 为圆心作一段圆弧, 用悬挂重物的细线过 B 点标定一铅垂线, 与该圆弧交于点 K. 则圆弧上每一点与圆心 B 的连线均与铅垂线即竖直方向有一夹角 α , 在圆弧上选取一些点(在这些点很近的两侧分别插两根金属细针), 这些点对应着角度 $\alpha_1, \alpha_2, \dots$, 可用量角器直接在纸板上分别量出与铅垂线所成角度. 在纸板背面, 有如图 4 所示的并联电路, 若导线接触到纸板上的任一根细针则其中一个支路将被接通, 位于干路的小灯泡将发光. 当将导线放入某两根细针之间后, 物体静止时, 则细导线上总有一点(H)将与细针接触而使整条细导线发生偏折成为折线, 如图 3 中物体处于 E_1 位置, 并且小灯泡将发光. 当物体做匀速圆周运动后, 导线成一条直线, 如图 3 中物体处于 E_2 位置, 细导线不与细针接触, 小灯泡熄灭, 此时该点对应的角度就为物体匀速圆周运动时导线与竖直方向的夹角 α .

2.4 测定向心加速度的大小

设物体的质量为 m , 当物体在水平面内做匀速圆周运动时, 对其进行受力分析(图 5). 由于物体在水平面内做匀速圆周运动, 它在竖直方向上所受合力就为零, 水平方向上提供向心力的合力应为 $F = mg \tan \alpha$, 式中 g 为重力加速度. 由牛顿第二定律 $F = ma$ 可得到向心加速度大小为 $a = g \tan \alpha$, 可以看出, 向心加速度 a 的大小可以由物体在运动稳定时细导线与竖直方向的夹角 α 来唯一确定. 因此, 当调节调速器 F 来改变物体做圆周运动的角速度大小时, 导线与竖直方向的夹角 α 的变化情况就对应着向心加速度 a 的大小变化情况. 如果要验证 $a = \omega^2 r$ 的正确性, 则 $g \tan \alpha = \omega^2 r$ 就该成立. 将前面半径 r 大小的计算式代入得到 $\omega^2 =$

$\frac{g \tan \alpha}{\frac{AB}{2} + l \sin \alpha}$, 可见一个 ω 对应着一个 α . 实验时只要测出夹角 α 、细导线长度 l 以及杆 AB 的长度就可以计算出角速度 ω 的大小. 如果测速器测出的角速度 ω 大小与计算出的角速度 ω 大小相等, 就验证了向心加速度大小计算式 $a = \omega^2 r$ 的正确性.

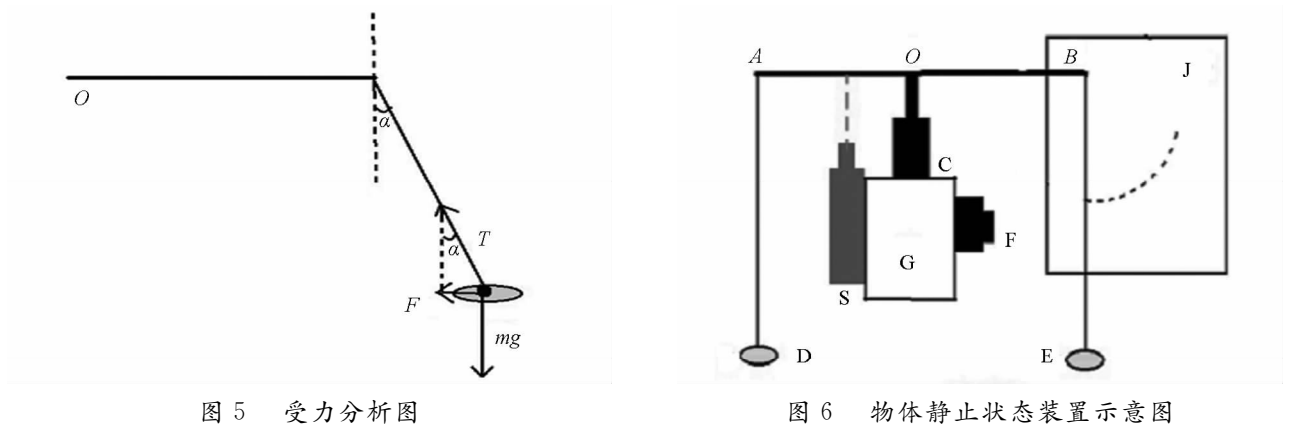


3 实验装置应用

此装置能够定性演示向心加速度 a 随角速度 ω 和半径 r 的增大而增大, 实验步骤在文献[1]中已经有详细介绍, 下面主要介绍用实验装置定量演示向心加速度计算式 $a = \omega^2 r$ 正确性的方法.

3.1 实验过程与方法

在杆右侧装上市板 J(图 6). 向 D 和 E 中加入相同质量的水, 并在实验过程中保持不变. 调节调速器 S 旋钮到最低速度位置, 闭合纸板 J 中电路. 水平静止放置实验装置, 并使两物体静止, 这时右侧板背面的小灯泡发光.



根据前面的推导, 只需验证 $g \tan \alpha = \omega^2 r$ 成立即可. 假设物体以半径 r_1 做匀速圆周运动时夹角为 α_1 , 将 r_1 和 α_1 代入 $g \tan \alpha = \omega^2 r$ 中可计算出对应的角速度 ω_1 . 将右侧细导线卡在该角度 α_1 对应点上两根细针之间, 打开电池盒开关和测速器, 根据测速器上的示数缓慢调节物体角速度到 ω_1 , 此时导线成一直线不与细针接触, 电路断开, 小灯泡熄灭, 说明在角速度 ω_1 下, 物体做匀速圆周运动时, 细线与竖直方向的夹角为 α_1 , 因此实验现象便与理论推导相符, 说明向心加速度计算式 $a = \omega^2 r$ 是成立的.

再取其他角度 $\alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \dots$ 重复验证.

3.2 实验结果与分析

向心加速度计算式的定量验证实验现象与数据记录见表 1. 由表 1 可知, 只有将物体做匀速圆周运动的角速度 ω' 调整到由向心加速度计算式 $\omega^2 = \frac{g \tan \alpha}{\frac{AB}{2} + l \sin \alpha}$ 计算得出的角速度 ω 大小时, 细软导线才会成一直

线,灯泡熄灭.

表 1 实验现象与实验数据记录表

夹角 α		角速度计算值 $\omega/$ (rad · s ⁻¹)		角速度调节值 $\omega'/$ (rad · s ⁻¹)		细线状态	灯泡状态
编号	角度/°						
α_1	30	ω_1	5.61	ω'_1	4.80	折线	亮
					5.60	直线	灭
					6.00	折线	亮
α_2	45	ω_2	6.65	ω'_2	6.20	折线	亮
					6.65	直线	灭
					7.70	折线	亮
α_3	60	ω_3	8.19	ω'_3	7.80	折线	亮
					8.20	直线	灭
					9.00	折线	亮

注:细导线长度 $l=0.20\text{ m}$,杆 AB 长度为 0.16 m .

4 结束语

本研究设计的装置取材方便,制作简单,不但可以定性演示向心加速度 a 与角速度 ω 、半径 r 的定性关系^[1],还可定量验证向心加速度公式 $a=\omega^2r$ 的正确性.实验原理不复杂,实验现象明显、形象直观,有助于学生对向心加速度计算公式的理解.

参考文献:

[1] 熊子天,李韵寒,孙元赞,等. 向心加速度演示仪设计与教学应用 [J]. 中学课程辅导(教师通讯),2018(7): 108-109.
[2] 郭海风,周 健. 验证影响向心力大小因素演示仪 [J]. 中学物理(高中版),2014,32(6): 45-45.
[3] 刘晓东. 基于 STM32 的向心力探究演示仪的研制 [J]. 物理实验,2017,37(4): 59-62.
[4] 王恺骊. 一种易于使用的向心力演示装置 [J]. 中国新技术新产品,2015(20): 39.

Design and Application on Experimental Facility of
Validating Centripetal Acceleration Formula

WU Dong-xing¹, MI Wang-chen¹, XIONG Zi-tian²,
WU Wen-tong², SUN Yuan-bin², LI Yun-han², CHEN Xiao-li¹

1. School of Physical Science and Technology, Southwest University, Chongqing 400715, China;
2. Chongqing Nankai Secondary School, Chongqing 400300, China

Abstract: This experimental facility is composed of four parts: the power unit, velocity controlling unit, velocity measuring unit and angle measuring unit, which not only show the qualitative relationship of centripetal acceleration with angular speed and radius, but also verify the quantitative relationship of centripetal acceleration with angular speed and radius in uniform circular motion, thus it can help students to deepen their comprehension of formula . This article mainly introduces constitute, principle, methods and result of the experiment.
Key words: centripetal acceleration; demonstrating instrument; design and produce; application