

向心力演示装置的设计与制作

江伟欣

(华南师范大学物理与电信工程学院 广东 广州 510006)

吴先球

(华南师范大学物理学科基础课实验教学示范中心 广东 广州 510006)

(收稿日期:2020-01-09)

摘要:基于定性探究实验的原理,设计并制作了一个定量的向心力演示装置,由电机带动钩码做匀速圆周运动,利用压力传感器测量压力的变化量代替拉力的测量思想,得到向心力的值,能用于探究影响匀速圆周运动向心力的因素,并帮助学生理解向心力的概念及效果。

关键词:向心力演示装置 设计 制作

向心力概念是曲线运动的重点和难点^[1].新课标对向心力学习的要求包括:通过实验,探究并了解匀速圆周运动向心力与质量、半径、角速度的关系^[2].

本文设计并制作了一个向心力演示装置,由电机带动物体做匀速圆周运动,并通过电机调速器改变物体做圆周运动的速度,利用压力传感器测量重物压力的变化量,借助单片机编程计算得到向心力的测量值,使学生通过实验定量探究影响向心力的因素,加深对向心力概念及效果的理解。

1 设计思路

粤教版教材中利用空心圆珠笔杆及细绳,细绳穿过笔杆,一端拴住小物体,另一端用手牵住,使物体做圆周运动,让学生通过手的感觉定性感受影响向心力的因素^[3].该实验取材方便,操作简单,让每个学生都能亲历实验过程,增加学生动手操作的机会,更有助于学生感性地感受到影响向心力的因素.但实验中无法保证小球的圆周运动维持在水平面上,且仅通过手的感觉来感受向心力的大小,无法定量地科学探究影响向心力因素的关系^[4].

因此本文参考教材中实验的原理设计定量的向心力演示装置,让学生在完成定性实验后,引导学生思考如何改进实验进而进行定量的探究,进一步培养学生的创新思维,加强学生的实验探究能力。

(1) 向心力 F 的测量

装置示意图如图1所示,放置在亚克力槽中的钩码通过绳子经过定滑轮连接下方的重物,重物下放置一个压力传感器.当钩码处于静止状态时,绳子处于松弛状态,对下方重物没有拉力,此时,压力传感器显示的值等于重物自身的重力。

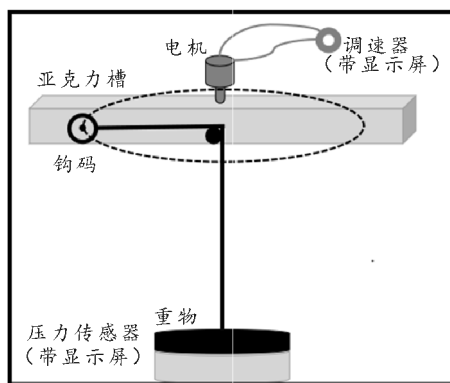


图1 实验装置示意图

当亚克力槽被电机带动起来旋转时,钩码也随着一起做圆周运动,此时钩码就会受到一个由绳子拉力提供的向心力,根据牛顿第三定律,下方重物也会受到一个和向心力大小相等方向向上的绳子的拉力,使得重物对压力传感器的压力减小,压力的减小值即等于向心力值^[5].利用单片机编程将钩码做圆周运动前后重物对压力传感器的压力减小量计算并利用数码管显示出来,即可测量得到向心力的值。

(2) 角速度 ω 的测量

本实验装置利用电机带动亚克力槽转动,钩码

放置槽中随着一起做匀速圆周运动,通过电机调速器可调节钩码做圆周运动的速度.电机的数显调速器可显示电机当前转动角速度与最大角速度的百分比,本实验装置中用的电机最大转动角速度为 $10\pi \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$,即当前转动角速度 ω 为数显调速器中显示的百分比乘以电机最大角速度 $10\pi \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$.

(3) 转动半径 R 的测量

毫米刻度尺测量钩码做圆周运动时的转动半径.

(4) 质量 m 的测量

利用已知质量的钩码完成实验,使用方便且利于计算,本文采用 10 g 和 20 g 的钩码完成实验.

2 教具制作

(1) 器材

24 V 直流电机(最大转动角速度为 $10\pi \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$),交流 220 V 转直流 24 V 变压器,直流电机数显调速器,50 cm × 4 cm × 4 cm 亚克力槽,小定滑轮,10 g 和 20 g 的钩码,尼龙鱼线绳子,压力传感器 + HX711AD,基于 51 单片机的电子秤测试板,三位数码管模块,500 g 圆柱形重物,指尖陀螺,竖直木板.

(2) 实验装置图

装置图如图 2 所示.

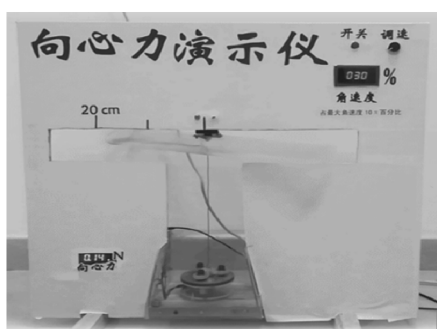


图 2 实验装置图

(3) 制作方法

1) 将交流 220 V 转直流 24 V 变压器与电机数显调速器、直流电机串联连接起来,当将变压器接入家庭电路 220 V 电压中时,即可以通过电机调速器调节电机的转速,并可以从调速显示屏中获取此时电机的转速.将变压器、电机调速器、电机分别固定在竖直木板上,便于师生操作观察.

2) 利用电机轴套将亚克力槽上板固定在直流电机的转轴上,使电机启动时可同时带动亚克力槽在垂直于木板的水平面上做圆周运动.

3) 在亚克力槽底部中央钻出一个洞,在洞旁放置一个小定滑轮,将尼龙鱼线绳子放置在亚克力槽内,并通过亚克力槽内的定滑轮穿过洞与下方指尖陀螺中心处固定,指尖陀螺的三叶与下方重物粘贴好,放置在压力传感器上.实验时钩码即可以固定在绳子的任意位置,绳子提供钩码做圆周运动所需要的向心力,也会对下方指尖陀螺及重物施加一个向上的拉力,从而改变重物对压力传感器的压力.

4) 将压力传感器与已编好程序的单片机及数码管连接起来,数码管固定于木板上便于读数,实验时即可通过读取数码管显示屏来获取压力传感器压力值的变化量,即向心力的值.

3 实验探究

将钩码勾在绳子一定的位置上,打开电机开关,调节电机转动速度,读取电机数显调速器屏幕中数值,计算转动角速度 ω ,通过压力传感器中数码管显示屏得到向心力的测量值.实验数据如表 1,表 2 和表 3 所示,利用 Excel 处理表格中的数据.(其中向心力理论值通过理论公式 $F = m\omega^2 R$ 计算得到)

表 1 探究向心力与质量的关系

序号	钩码质量 m/kg	转动半径 R/m	电机转速占最大转速百分比 / %	角速度 $\omega/(\text{rad} \cdot \text{s}^{-1})$	向心力理论值 F/N	向心力测量值 F/N
①	0.01	0.20	30	9.42	0.18	0.17
②	0.02	0.20	30	9.42	0.35	0.33
③	0.03	0.20	30	9.42	0.53	0.50

表2 探究向心力与转动半径的关系

序号	钩码质量 m/kg	转动半径 R/m	电机转速占最大转速百分比 / %	角速度 $\omega/(\text{rad} \cdot \text{s}^{-1})$	向心力理论值 F/N	向心力测量值 F/N
①	0.02	0.05	30	9.42	0.09	0.09
②	0.02	0.10	30	9.42	0.18	0.17
③	0.02	0.15	30	9.42	0.27	0.26

表3 探究向心力与角速度的关系

序号	钩码质量 m/kg	转动半径 R/m	电机转速占最大转速百分比 / %	角速度 $\omega/(\text{rad} \cdot \text{s}^{-1})$	向心力理论值 F/N	向心力测量值 F/N
①	0.01	0.10	20	6.28	0.04	0.04
②	0.01	0.10	40	12.57	0.16	0.16
③	0.01	0.10	60	18.85	0.36	0.35

对实验数据进行分析:

由表1和表2可得,钩码质量、转动半径分别增加一倍时,向心力测量值也会增加一倍.从表3可得,当角速度增加一倍时,向心力测量值增加4倍.并且,对比向心力理论值和测量值,向心力测量值与理论值的误差控制在5.66%内,即本装置能在课堂上完成定量验证向心力表达式的教学任务.

4 实验改进分析

(1) 利用指尖陀螺解决绳子旋转扭曲问题,体会物理走进生活

探究物体做圆周运动的实验往往遇到绳子扭曲的问题,而指尖陀螺是一种中间嵌入轴承的可平面转动的减压新型小物品,并且旋转时摩擦力极小.将绳子与指尖陀螺中间的轴承连接起来,当绳子做圆周运动时可同步带动轴承旋转,而与指尖陀螺三叶连接起来的物体可保持静止状态,有效地解决绳子扭曲的问题,利用学生身边的小物体改进实验装置,让物理走进生活,体会物理与生活的密切联系,提高学生科学情感和责任意识,提高学生核心素养.

(2) 在定性实验的基础上设计定量实验,增强实验探究连贯性

本装置原理是在粤教版教材中的定性实验基础上进行改进的,实验源于教材又高于教材.在课堂教学中,可先带领学生完成定性实验,然后提出定性实验无法进行定量探究的局限,引导学生思考改进实验的方法,培养学生探究创新能力及改进实验的思

维能力^[6].在定性实验的基础上引导学生进行定量探究,实验探究思路清晰明确,层层递进,提高了实验探究的连贯性,让学生亲历科学探究的过程,在课堂实验中落实学生核心素养中科学探究能力的培养.

(3) 构建“连接体”模型,加深学生对概念的理解

向心力是一个抽象的概念,也是学生首次接触效果力概念,学生学到这部分的时候普遍感到比较吃力.本实验装置利用连接体模型,将做圆周运动的钩码与下方重物连接起来,通过对连接体中物体的受力分析测量向心力,可帮助学生理解向心力的概念及效果.同时,在实验观察的过程中培养学生将实物装置抽象构建出物理模型的科学思维,将核心素养渗透到实验探究的过程中.

参考文献

- 1 楼志刚.用自制教具探究圆周运动向心力的思考——培养物理核心素养[J].物理通报,2018(01):35~37
- 2 中华人民共和国教育部.普通高中物理课程标准(2017年版)[S].北京:人民教育出版社,2018
- 3 普通高中课程标准实验教科书物理·必修2[M].广东:广东教育出版社,2019
- 4 陈金华.“向心力”的教材分析及建议[J].中学物理教学参考,2010,39(12):17~18
- 5 方红霞.向心力探究装置[J].物理教学,2013,35(02):23~26,29
- 6 蔡俊龙.运用自制教具验证和探究向心力公式实验[J].实验教学与装置,2018,35(09):50~53