

一种探究向心力大小的实验装置

刘娅楠

(苏州市吴江中学 江苏 苏州 215200)

(收稿日期:2019-10-10)

摘要:介绍了一种改装的向心力研究仪器,通过添加相关电子元件以便显示各物理量的大小,定量研究向心力的影响因素以及和各物理量的比例关系;解决了以往实验仪器只能定性研究,不能量化的缺点;力求让学生在实验研究中,通过运算、作图感受物理量的内在规律,提高物理核心素养.

关键词:向心力 实验仪器 定量分析

新一轮物理教学调整中进一步强化了实验的重要性,其中“探究向心力与半径、角速度、质量的关系”成为必修2中的必修物理实验.而目前中学探究向心力的实验装置资源缺乏,过于简化,只能定性的判定影响向心力大小的因素,不能准确、直观地得出结论.为此特结合本校的实验资源,开发制作了一种探究向心力的实验装置,通过实验分析研究,提升学生的物理学科核心素养.

1 实验的设计思路

本实验需要研究的物理量有向心力、半径、角速度及质量,其中半径和质量的测量相对容易,而为直接显示向心力的大小,装置选择了利用双孔梁式传感器进行测量,双孔梁式传感器可在微型电子秤中得到;将物理量角速度转化为转速,并利用转速表测量得到装置中小球匀速圆周运动的转速大小.

2 实验的建构

选取一块有机玻璃作为水平面圆周运动的固定平台,另还需一个旋转平台带动小球实现匀速圆周运动;为了让旋转平台转动,在固定平台的中间安装微型直流减速电机,并让电机输出轴与旋转平台一端连接,为防止电机输出轴带着旋转平台转动时晃动,将固定平台与电动机之间装一小轴承,如图1所示,以保证测力显示器相对稳定.



图1 旋转平台侧面图

将双孔梁式传感器安装在旋转平台的另一端,并与测力显示器相连,以便直接读取向心力的大小;为保证双孔梁式传感器在旋转平台转动时,时刻与测力显示器保持动态的电气连接,采用4路集电环,如图2所示.即用一寸PPR自来水管续接截取长2.5 cm,在此圆环上每相距0.5 cm,用直径1.5 mm的铜线制成4道导电环,在旋转平台上与之相对应安装4路磷铜簧片,4路磷铜簧片和4道导电环就形成了4路集电环.除此之外还需在平台上安装电感式接近开关,并与转速表相连,显示圆周运动的转速.

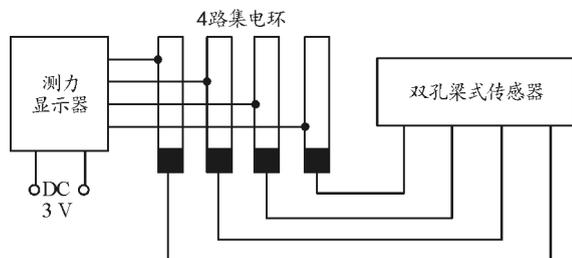


图2 4路集电环示意图

综上所述,实验器材示意如图3所示,实物如图4所示.

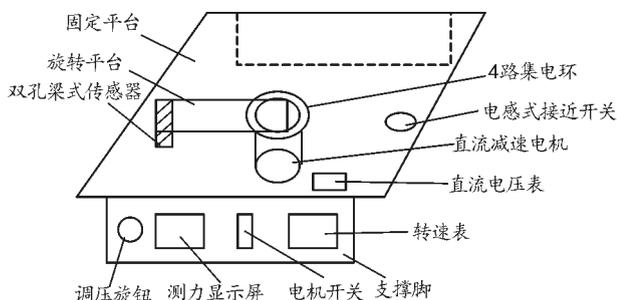


图3 实验器材示意图



图4 实验器材实物图

3 实验方法

将调压旋钮调到电压最小位置(13 V),接通电源,待测力显示屏显示 0.00 时,打开电机开关,此时旋转平台开始低速旋转,速度表显示 1.0,表示转台转速 n 为 1 r/s;测力显示屏显示值为双孔梁式传感器自身的向心力. 旋转调压旋钮,旋转平台转速逐渐提高,当电压调到 25 V(最大值)时,速度表显示 2.0,表示转台转速 n 为 2 r/s. 通过调节调压旋钮,可以选择不同的转速,记录相应转速下的空转及放入

小球后测力显示屏的示数,可研究转速与向心力的关系. 移动双孔梁式传感器在旋转平台上的位置,通过控制变量可探究半径对向心力的影响. 同理改变小球的质量,即可研究质量与向心力的关系.

4 实验操作 —— 以“探究小球匀速圆周运动时向心力的影响因素”为例

4.1 探究质量和半径一定时转速与向心力的关系

(1) 保持小球质量 $m = 31.39$ g、双孔梁式传感器在旋转平台上的位置 $r_1 = 18.00$ cm 不变,接通电源,打开开关并调节转速,使速度表上显示为 1.0,读出此刻空转时测力显示屏的示数 $F_1 = 2.11 \times 10^{-2}$ N,关闭电源;

(2) 将小球放在旋转平台一端,打开电源,此时转速仍为 1.0,旋转稳定后读出测力显示器的读数 $F'_1 = 25.58$,填入表格后关闭电源;

(3) 重复实验分别将转速调至 1.5、2.0,记录相应空转时测力计示数及放入物体以后的示数填入表 1.

表1 转速与向心力实验数据记录

旋转半径 r/cm	转速 $n/(\text{r} \cdot \text{s}^{-1})$	自身向心力 $F_1/(\times 10^{-2} \text{ N})$	物体质量 m/g	显示数值 $F'_1/(\times 10^{-2} \text{ N})$	向心力 $F/(\times 10^{-2} \text{ N})$
18	1.0	2.11	31.39	25.58	23.47
18	1.5	4.57	31.39	54.32	49.75
18	2.0	8.41	31.39	102.89	94.48

(4) 计算小球所受向心力 $F = F'_1 - F_1$,填入表格;利用计算机中绘图软件,将向心力 F 设为纵轴,转速的平方设为横轴,填入数据进行线性拟合(如图 5);可测更多组数据进行线性拟合,使实验更加精准.

4.2 探究半径与向心力的关系

(1) 保持小球质量 $m = 31.39$ g 不变,记录双孔梁式传感器在旋转平台上的位置

$$r_1 = 14.00 \text{ cm}$$

打开开关并调节转速,使速度表上显示为 2.0,读出此刻空转时测力显示屏的示数 $F_1 = 6.92$,关闭电源;

(2) 将小球放在旋转平台一端,打开电源,此时转速仍为 2.0,半径仍为

$$r_1 = 14.00 \text{ cm}$$

待旋转稳定后读出测力显示器的读数

$$F'_1 = 79.86$$

填入表格后关闭电源;

(3) 移动双孔梁式传感器在旋转平台上的位置,重复步骤(1)(2),记录相应数据填入表 2.

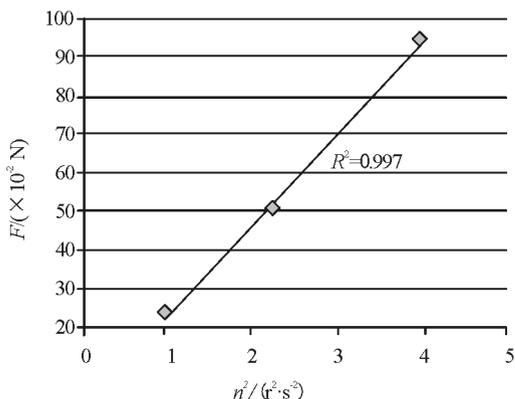


图5 转速的平方与向心力数据拟合

表2 半径与向心力关系实验数据记录

旋转半径 r/cm	转速 $n/(r \cdot \text{s}^{-1})$	自身向心力 $F_1/(\times 10^{-2} \text{ N})$	物体质量 m/g	显示数值 $F'_1/(\times 10^{-2} \text{ N})$	向心力 $F/(\times 10^{-2} \text{ N})$
14	2.0	6.92	31.39	79.86	72.94
16	2.0	7.87	31.39	91.92	84.05
18	2.0	8.41	31.39	102.89	94.47

(4) 计算小球所受向心力 $F = F'_1 - F_1$, 填入表格; 利用绘图软件, 将向心力 F 设为纵轴, 旋转半径 r 设为横轴, 填入数据进行线性拟合, 如图 6 所示。

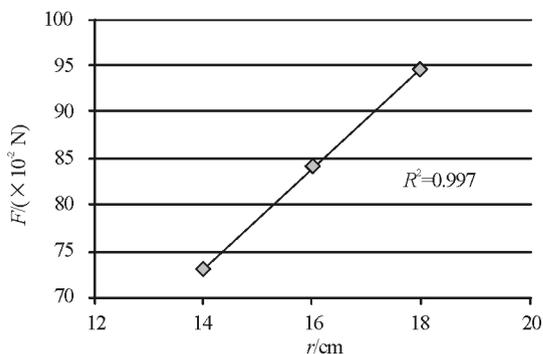


图6 旋转半径与向心力数据拟合

4.3 探究质量与向心力的关系

保持转速 $n = 2.0 \text{ r/s}$ 和半径 $r_1 = 18.00 \text{ cm}$ 不变, 改变小球质量, 重复操作, 记录数据, 如表 3 所示, 并进行线性拟合, 如图 7 所示。

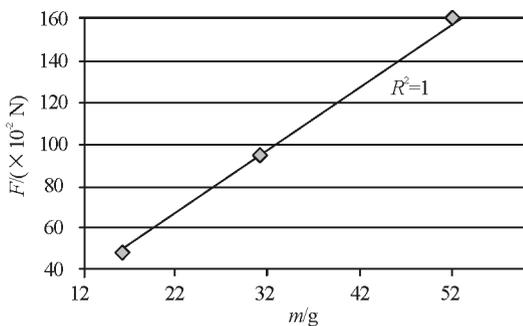


图7 物体质量与向心力数据拟合

表3 质量与向心力关系实验数据记录

旋转半径 r/cm	转速 $n/(r \cdot \text{s}^{-1})$	自身向心力 $F_1/(\times 10^{-2} \text{ N})$	物体质量 m/g	显示数值 $F'_1/(\times 10^{-2} \text{ N})$	向心力 $F/(\times 10^{-2} \text{ N})$
18	2.0	8.41	16.22	57.64	49.23
18	2.0	8.41	31.39	102.89	94.48
18	2.0	8.41	52.78	167.56	159.15

4.4 结论

通过观察数据及作图分析, 可得到结论: 物体圆周运动的向心力 F 与物体的质量 m 、轨道半径 r 和转速 n 有关; 当质量 m 和运动半径 r 不变时, 向心力与转速的平方成正比, 即与圆周运动的角速度平方成正比; 当转速和物体质量不变时, 圆周运动向心力与半径成正比; 当物体圆周运动转速和半径不变时, 物体的向心力与物体质量成正比。

以上通过实验数据作图分析得到的结论与理论计算公式相符, 即物体做圆周运动的向心力为

$$F = m \frac{v^2}{r} = m\omega^2 r = 4\pi^2 mn^2 r$$

式中 m 为物体的质量, r 为圆周运动的半径, v 为线速度, ω 为角速度, n 为转速。

5 总结

实验时转台转动过程中存在的摩擦力、旋转平台的质量、小球放置的位置等因素不可避免会给实验数据带来一定的误差; 该实验仪器设计制作的初衷是为了实现定量研究各物理量与向心力的定量关系, 为中学阶段向心力实验的研究提出一种设计思路, 供大家参考。

实验装置的设计还可以进一步完善, 以减小实验误差, 增加测量精度, 提高实验效果。目的是使学生通过实验, 探究圆周运动的向心力与其他物理量之间的内在规律, 做到理论与实验相结合, 在探究过程中努力提高物理核心素养。