

改进型向心力探究仪

黄丹青 吴玲敏 杨婉华 李德安

(华南师范大学物理与电信工程学院 广东 广州 510006)

(收稿日期:2016-06-06)

摘要:针对传统“DIS向心力实验器”的不足,设计了改进型向心力探究仪.新仪器保留了传统向心力实验器的部分元件,改进了转动半径测量和向心力测量装置.通过改变电动机转速、圆周半径和砝码质量等参量,可定量研究向心力表达式.

关键词:向心力 定量分析 角速度

传统的 DISLab 向心力实验器,如图 1 所示.

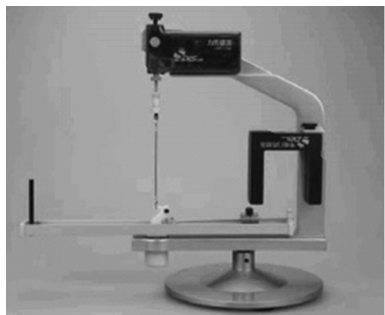


图 1 传统 DIS 向心力实验器

先测出挡光杆做匀速圆周运动过程中经过光电门的时间,再由挡光杆直径与时间的比值得出挡光杆运动的线速度.由线速度与挡光杆到中心距离的比值得出的角速度 $\frac{v}{R}$ 即为旋转臂上砝码的角速度;由力传感器得到向心力实验值 F ,砝码与转动轴中心的距离 r ,从而验证 $F = m\omega^2 r$.该实验在构思、原理和方法方面让人感到完美,但在实际操作中却有以下几处不妥:

(1) 旋臂上刻度纸的最小精度为 1 cm,因此砝码与中心的距离 r 读数并不精确;

(2) 由于在转动过程中旋转臂受到空气阻力而且旋转臂和水平方向上主梁架之间也存在摩擦,导致在转动过程中角速度大小并不是恒定不变,因此挡光杆的角速度并不等于砝码的角速度;

(3) 用手拨动旋转臂做圆周运动,用力过大可能会影响装置的稳定.

基于以上 3 条原因,实验结果误差较大,达不到验证的效果.

1 改进型向心力探究仪的设计原理与思路

针对现有 DIS 向心力探究仪的不足,改进后的向心力探究仪对转动半径的测量和向心力测量装置作了改进,能方便地把与向心力 F 有关的几个物理量(m, R, ω)准确地确定下来,该向心力探究仪有几个突出的优点:

(1) 转动半径大小的测量改为 10 分度的刻度纸,提高精确度;

(2) 砝码转速的快慢可通过步进电机的控制器进行调节,避免用手拨动影响旋转臂的平衡;

(3) 由步进电机带动旋转臂运动,转速稳定,保证砝码做匀速圆周运动.

由于它具有这几个特点,所以能帮助教师很好地完成定量研究向心力的教学任务.

1.1 仪器结构

本仪器的结构和各部件的名称如图 2 所示,主要部件的作用为:底座用来安装固定电动机;步进电机调速器与步进电机控制器配合,用来改变与向心力有关的物理量 ω ;光电门与挡光杆二者配合用来

作者简介:黄丹青(1992-),女,在读硕士研究生,主要研究方向为物理实验.

指导教师:李德安(1974-),男,高级实验师,主要研究方向为物理实验与科技创新、低成本实验等.

测量电动机的旋转周期 T 进而测出 ω ; 刻度纸用来测量砝码到转动轴中心的距离; 其中力传感器, 可测出向心力的大小。

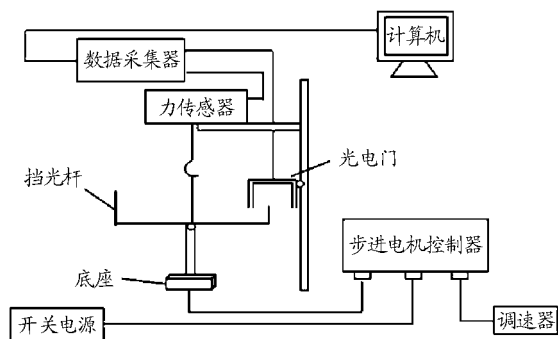


图2 改进型向心力探究仪

1.2 设计设想

设计本探究实验仪的目的与任务如下:

- (1) 使学生直观地理解向心力与哪些因素有关, 信服向心力公式 $F = m\omega^2 r$;
- (2) 帮助师生共同用实验方法探究向心力公式, 完成对向心力进行定量研究的任务。

2 向心力定量分析

2.1 探究向心力 F 与 ω^2 关系

2.1.1 固定砝码质量, 探究不同 r 情况下的 F 与 ω^2 的关系

(1) 将力传感器和光电门固定在木杆上, 接入数据采集器; 实验器有关参数: 挡光杆直径 0.005 m , 挡光杆到轴心的距离为 0.14 m ^[1];

(2) 调节旋转臂水平, 并对力传感器调零;

(3) 固定砝码质量 $m = 0.012\ 27\text{ kg}$, 取砝码到转轴中心距离 r_1 为 8 cm ;

(4) 调节步进电机控制器, 依次改变脉冲频率, 使砝码以不同的角速度进行旋转, 并记录下每一次调节的脉冲频率;

(5) 打开 DISLab 软件“计算表格”窗口, 点击“开始”, 记录 F, t 数据;

(6) 点击“公式”, 输入计算线速度和角速度的

公式: $v = \frac{0.005}{t}$ 和 $\omega = \frac{t}{0.14}$, 得到计算结果^[1], 由软件画出 $F - \omega^2$ 的关系图 y_1 ;

(7) 改变砝码位置, 取 r_2 为 10 cm , 按照记录的脉冲频率改变砝码的角速度, 重复(5)、(6)步骤, 拟合出 $F - \omega^2$ 的关系图 y_2 ;

(8) 再一次改变砝码位置, 取 r_3 为 12 cm , 按之前的实验数据改变脉冲频率, 重复(5)、(6)步骤, 拟合出 $F - \omega^2$ 的关系图 y_3 ;

将上述实验结果整合到关系图上, 如图3所示。

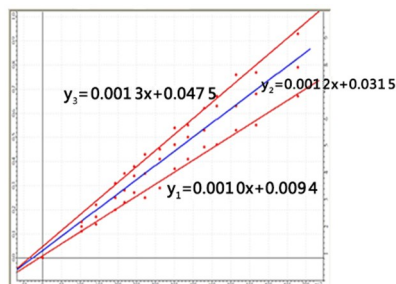


图3 改变 r 的 $F - \omega^2$ 关系图

2.1.2 固定半径, 探究不同质量情况下的 F 与 ω^2 的关系

(1) 将力传感器接入数据采集器, 调节旋转臂水平, 对力传感器调零;

(2) 固定半径 r 为 8 cm , 取质量为 $m = 0.012\ 27\text{ kg}$ 的砝码进行实验;

(3) 在控制器上调节不同频率并记录数据, 使砝码以不同的角速度进行转动, 记录 F, t 数据;

(4) 点击“公式”, 输入计算线速度和角速度的公式: $v = \frac{0.005}{t}$ 和 $\omega = \frac{(0.005/t)}{0.14}$, 得到计算结果^[1], 由软件画出 $F - \omega^2$ 的关系图 y_m ;

(5) 改变砝码质量 $M = 0.021\ 84\text{ kg}$, 按照上一实验相同的频率改变量进行调节, 记录 F, t 数据, 并重复步骤(4), 画出 $F - \omega^2$ 的关系图 y_M 。

将上述实验结果整合到关系图上, 如图4所示。

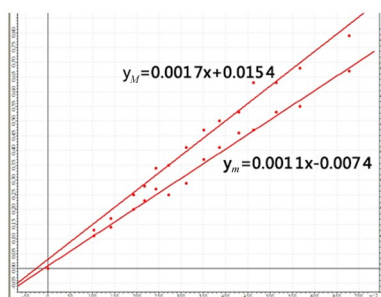


图4 改变质量的 $F - \omega^2$ 关系图

分析一:固定砝码质量,探究不同 r 情况下的 F 与 ω^2 的关系所得的实验结果如图3所示.

$$y_1 = 0.001\ 0x + 0.009\ 4$$

$$y_2 = 0.001\ 2x + 0.031\ 5$$

$$y_3 = 0.001\ 3x + 0.047\ 5$$

是对应半径 $r_1 = 8\text{ cm}$, $r_2 = 10\text{ cm}$, $r_3 = 12\text{ cm}$ 得出的关系图线.

图3中3条趋势图线说明:

(1)不同半径情况下的数据点和拟合线都能基本重合^[2],因此 F 与 ω^2 基本成线性关系;

(2)对比3条图线,可得出在 m, ω 相同时,转动半径越大,向心力越大^[3].

分析二:固定半径,探究不同质量情况下的 F 与 ω^2 的关系所得的实验结果如图4所示.图4中 y_m 和

y_M 两条趋势图线说明:

(1)数据点和拟合线基本重合^[2],说明 F 与 ω^2 基本成线性关系;

(2)在 r 和 ω^2 相同的情况下,砝码质量越大,向心力越大.

结合以上分析结果,可以得出,改进型向心力探究仪在对 ω 数据保持稳定控制上具有绝对的优势,线性拟合情况远胜于传统实验,即通过图像的拟合能够比较理想地直观总结出 F 与 ω, r, m 之间的关系,能对向心力公式进行很好的定量分析^[3].

2.2 传统实验与改进型测量结果的对比

传统与改进型向心力探究仪的实验数据记录表分别如表1和表2所示.

表1 传统向心力探究仪实验数据记录表

砝码到轴心距离 r/cm	8	9	10	11	12	13
力传感器的测量值 F/N	0.21	0.19	0.23	0.20	0.18	0.23
理论值 F'/N	0.072 0	0.061 0	0.078 6	0.057 9	0.048 7	0.061 6
相对误差 /%	191.67	211.43	192.62	245.42	269.61	273.37

表2 改进型向心力探究仪实验数据记录表

砝码到轴心距离 r/cm	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00
力传感器的测量值 F/N	0.43	0.48	0.53	0.57	0.65	0.70
理论值 F'/N	0.428 2	0.481 7	0.529 0	0.588 8	0.649 9	0.695 8
相对误差 $\frac{ F - F' }{F'}/\%$	0.42	0.35	0.19	1.72	0.01	0.60

对表1和表2数据进行对比,相比传统实验来说,改进型向心力探究仪得出的实验误差能控制在10%左右,误差大大减小,实验精确度提高.这是因为改进型向心力探究仪通过改变脉冲频率改变电动机旋转的角速度,相比于传统向心力实验,在旋转过程中旋转臂的角速度稳定;其次选择10分度的刻度纸,使半径的读数更加精确.所以改进后的向心力探究仪能对向心力公式进行很好的定量分析.

3 结束语

针对传统DISLab向心力实验器在实验测定中存在的不足,设计了改进型向心力探究仪.实验器材方面,在传统实验器材的基础上连接了电动机,提供

稳定的动力;实验测量方法方面,直接通过控制器调节输出脉冲频率,人为控制角速度的具体大小,操作更加简单快捷方便.而且所得结果更接近理论值,准确度得到了提高,取得了良好的效果^[4].

参考文献

- 李峥.传统实验与DIS实验在向心力表达式得出过程中的对比分析.物理教学探讨,2015,33(8):9~11
- 曾自力,申振.传统实验与DISLab实验的有效整合.中学物理教学参考,2010,39(4):9~11
- 代伟,徐平川,陈太红,等.对电动向心力定量分析演示仪的改进.大学物理,2012,31(7):40~42
- 饶黄云,刘传安,潘小青.改进型焦利氏秤与传统实验对比研究.东华理工学院学报,2005,29(2):197~200