

巧用圆周运动最高点测量重力加速度*

朱俊林

(江苏师范大学科文学院 江苏 徐州 221000)

(收稿日期:2021-04-21)

摘要:重力加速度是物理学中的一个重要概念,准确测量重力加速度对于地震预报、探矿等具有重要意义.如果一个球在竖直平面内做圆周运动,且如果到达最高点位置时竖直方向上只受重力作用,那么重力充当向心力.小球在最高点位置处向心加速度即是重力加速度,可通过此种方式测量重力加速度的大小.因为小球在最高点位置处受空气阻力沿水平方向,所以能够有效减小空气阻力对测量的影响,从而提高测量的精确度.

关键词:重力加速度 圆周运动 向心力 向心加速度

1 引言

自伽利略研究自由落体运动伊始,无数的前辈们探索测量重力加速度的新方法.例如:自由落体测量重力加速度实验的改进^[1],基于磁力限制摆物运动的单摆测量重力加速度^[2].随着科技的进步,使得测量重力加速度的方法变得多样.然而,当前的许多方法均无法排除或有效减小空气阻力对测量结果的影响.在目前的物理实验教学中,主要采用落球法或者单摆小角度近似简谐运动来测量重力加速度.以上方法没有考虑到空气阻力对测量的影响.能不能采用一种新的测量方法,或者制作一种新的测量设备.原理可行操作便捷,并且可以有效减小空气阻力对测量的影响.

2 解决方案

2.1 装置结构

设计如图1和图2所示实验装置,用圆管构成的圆形轨道,在最高位置处留一缺口.缺口处安装光电门计时装置,圆弧轨道右侧平滑连接一斜面轨道.



图1 装置简图

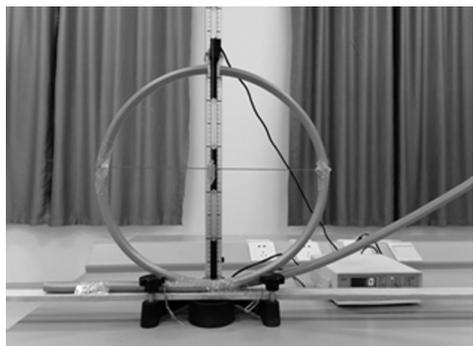


图2 实物图

2.2 实验原理

实验时,控制好小球的释放位置.要求在右侧轨道适当位置处释放后,小球恰好能冲过缺口到达对侧轨道中.如果小球到缺口处速度过大,将做离心运动,无法进入对侧轨道中.如果小球到缺口处速度过小,它将做近心运动掉下来,甚至速度过小根本无法冲到缺口处.小球到达最高缺口处,只有恰好满足重力提供向心力,即 $mg = \frac{mv^2}{R}$,才能不脱轨.

通过测量小球直径 d 和小球在缺口处光电门记录的遮光时间 Δt ,利用公式 $v = \frac{d}{\Delta t}$,求得小球在圆轨道最高缺口处的速度大小 v .用卷尺测量小球做圆周运动的轨道半径 R ,代入公式 $g = \frac{v^2}{R} = \frac{d^2}{\Delta t^2 R}$,便可求解得重力加速度 g 的大小.

* 江苏师范大学“2019年度课程思政示范课程建设项目”课题的阶段性成果,项目批准号:19kcsz001

作者简介:朱俊林(1988-),男,硕士,助教,主要从事物理教育教学研究.

虽然空气阻力能够影响水平切向的时间测量,进而影响到速度大小,但由于时间间隔极短,影响有限.因小球在缺口处没有竖直方向上的速度,空气阻力对向心加速度没有贡献,因而能够有效减小空气阻力对竖直方向上重力加速度测量的影响.

3 实验方案

3.1 实验思路

为了验证我们的设想,即该方法能够有效减小空气阻力对测量的影响.特地选择了大小几乎相同的小钢球和轻质塑料小球,做了3组实验数据.并把实验结果进行如下对比:(1)把小钢球与轻质塑料小球用此方法测量的结果和当地官方公布的精确重力加速度做对比;(2)把轻质塑料小球用此方法测得结果和用落球法测量的结果进行对比,根据对比总结得出结论.

3.2 实验步骤

把圆周轨道装置固定好,在缺口处安装好光电

门装置.把重锤线放下来确保最高缺口处水平.用游标卡尺测小球直径 d ,用卷尺测出轨道半径 R ,多次测量求平均值.

多次实验在右侧轨道上找到恰当位置,在该位置处释放小钢球,小球恰能从管道中心处越过缺口进入对侧圆管轨道中.实验时用手机录像回放确保小球在最高点处速度是水平的且恰好正对通过.记录每次小球通过光电门的遮光时间 Δt .重复以上步骤10次,并记录数据.

换同等大小的轻质塑料小球,再重复以上步骤10次,并记录数据.

再用落球法测定轻质塑料小球重力加速度:调节好装置设定下落高度 h ,无初速度释放小球,记录小球通过光电门的遮光时间 Δt ,重复10次.

4 实验数据及处理

记录实验测量数据如表1、表2和表3所示.

表1 小钢球做圆周运动测量数据

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
轨道半径 R/mm	481.6	480.3	481.3	478.9	480.1	478.7	480.3	484.0	481.6	485.8
小钢球直径 d/mm	11.98	11.96	11.90	11.96	11.98	11.98	11.92	11.94	11.90	11.98
遮光时间 $\Delta t/\text{ms}$	5.57	5.36	5.52	5.41	5.58	5.66	5.53	5.58	5.29	5.49

表2 塑料小球做圆周运动测量数据

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
轨道半径 R/mm	481.6	480.3	481.3	478.9	480.1	478.7	480.3	484.0	481.6	485.8
塑料小球直径 d/mm	11.78	11.80	11.89	11.82	11.93	11.85	11.95	11.80	11.79	11.84
遮光时间 $\Delta t/\text{ms}$	5.63	5.43	5.40	5.42	5.78	5.61	5.63	5.39	5.51	5.61

表3 塑料小球做初速为零的自由下落运动测量数据

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
设定高度 h/cm	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
塑料小球直径 d/mm	11.80	11.79	11.88	11.83	11.91	11.84	11.93	11.83	11.81	11.82
遮光时间 $\Delta t/\text{ms}$	3.91	3.46	4.06	3.41	4.19	4.44	3.55	3.87	4.19	3.79

轨道半径算术平均值

$$\bar{R} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} R_i = 481.3 \text{ mm}$$

A类不确定度

$$\Delta_A = S_{\bar{R}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (R_i - \bar{R})^2}{10(10-1)}} \approx 0.7 \text{ mm}$$

B类不确定度

$$\Delta_B = \frac{\Delta_A}{\sqrt{3}} \approx 0.3 \text{ mm}$$

合成不确定度

$$\Delta = \sqrt{\Delta_A^2 + \Delta_B^2} = \sqrt{0.7^2 + 0.3^2} \approx 0.8 \text{ mm}$$

$$R = \bar{R} \pm \Delta = 481.3 \pm 0.8 \text{ mm}$$

相对不确定度

$$E_R = \frac{\Delta}{R} \times 100\% = 0.20\%$$

用同样的方法求出表1、表2其他测量数据的不确定度并填入表格,如表4所示。

表4 圆周法直接测量数据的不确定度计算

小钢球 / 塑料小球	直径 d/mm	遮光时间 $\Delta t/\text{ms}$	轨道半径 R/mm
算术平均值	11.95/11.85	5.50/5.54	481.3
A类不确定度	0.01/0.02	0.04/0.04	0.7
B类不确定度	0.01/0.01	0.01/0.01	0.3
合成不确定度	0.02/0.02	0.04/0.04	0.8
相对不确定度 / %	0.20/0.17	0.73/0.72	0.20

将小钢球测量数据平均值代入公式

$$g = \frac{v^2}{R} = \frac{d^2}{\Delta t^2 R}$$

得

$$\bar{g} = 9.81 \text{ m/s}^2$$

合成相对不确定度

$$E_g = \frac{\Delta_g}{\bar{g}} =$$

$$\sqrt{\left(\frac{2\Delta_d}{d}\right)^2 + \left(\frac{-2\Delta_{\Delta t}}{\Delta t}\right)^2 + \left(\frac{-\Delta_R}{R}\right)^2} = 1.5\%$$

总合成不确定度

$$\Delta_g = \bar{g} E_g = 0.15 \text{ m/s}^2$$

重力加速度结果

$$g = (9.81 \pm 0.15) \text{ m/s}^2$$

用同样的方式处理塑料小球,得重力加速度

$$\bar{g} = 9.51 \text{ m/s}^2$$

$$\Delta_g = \bar{g} E_g = 0.14 \text{ m/s}^2$$

$$g = (9.51 \pm 0.14) \text{ m/s}^2$$

由公式 $v^2 = 2gh$, $v = \frac{d}{\Delta t}$, 得 $g = \frac{d^2}{2h\Delta t^2}$. 把表3数

据代入,得到落球法轻质塑料小球的重力加速度

$$\bar{g} = 7.74 \text{ m/s}^2$$

合成不确定度

$$\Delta_g = 0.05 \text{ m/s}^2$$

$$g = (7.74 \pm 0.05) \text{ m/s}^2$$

5 分析与总结

查资料得知本地重力加速度大小为 $g = 9.80$

m/s^2 . 小钢球利用圆周运动法测得重力加速度 $g = (9.81 \pm 0.15) \text{ m/s}^2$. 与本地真实重力加速度相对误差为 0.11%, 误差极小说明本实验所设计方法科学可行. 即使用轻质塑料小球, 采用圆周运动最高点法测得重力加速度 $g = (9.51 \pm 0.14) \text{ m/s}^2$, 与真实值误差仅为 2.96%.

用落球法测得轻质塑料小球重力加速度 $g = (7.74 \pm 0.05) \text{ m/s}^2$, 与真实值误差达到 21.0%, 说明轻质塑料小球竖直下落时空气阻力对测量影响很大. 而相比之下, 同样的塑料小球, 用圆周运动法测得重力加速度 $g = (9.51 \pm 0.14) \text{ m/s}^2$, 与真实值误差仅为 2.96%. 说明此方法能够有效减小空气阻力的影响.

通过对比也能发现, 同样大小的小钢球和轻质塑料小球用圆周运动法测量, 塑料小球偏差更大些, 这说明水平方向的空气阻力对测量是有影响的. 空气阻力通过影响小球通过光电门的遮光时间, 进而影响切向速度大小的精确计算. 在一定程度上影响竖直方向上的重力加速度的测量, 这也是本实验方法主要的误差来源.

但在时间间隔趋向于零时能够有效减小误差, 本实验中时间间隔在毫秒级别, 而小球直径也仅为十几毫米, 能使空气阻力影响的因素得到有效控制. 对比当地真实的重力加速度, 即使是用受空气阻力较大的塑料小球也能得到相对精确的测量结果. 说明此方法切实有效地减少了空气阻力对测量的影

活化问题 培养能力 基于生活情景的物理教具改进

——例谈“风扇发电机”的课堂应用

暴 雷

(哈尔滨市中实学校 黑龙江 哈尔滨 150000)

汤金波

(南京师范大学附属中学树人学校 江苏 南京 210000)

(收稿日期:2021-04-23)

摘 要:以“风扇发电机”这一课堂创新演示实验与设置问题培养学生的科学思维与科学探究素养.同时为学生的自主创新实验起到示范作用.

关键词:电磁感应 发电机 模型构建 楞次定律 交变电流

1 引言

对于物理学习来说,真正有效的物理认知结构一定是学生自主构建起来的,真正的物理学科能力一定是学生通过自身的努力建立起来的^[1].学生自主创新实验是培养学生物理核心素养的有效方式,

而学生自主创新实验的实践途径之一,就是教师演示实验的创新化和生活化处理.因此,教师演示实验的创新性和可拓展性,对于学生的跟随模仿与后期超越,就有了极其重要的示范作用.所以笔者采用了风扇这一生活电器来对电磁感应知识进行演示实验教学.风扇按照工作方式分为:直流风扇(DC FAN)、

响,即验证了前面理论上的设想和推导.

参 考 文 献

- 1 滕德虎.自由落体测量重力加速度实验的改进[J].中学物理教学参考,2019(6):92~93
- 2 柏浩年,贺叶露,段昌宝.基于磁力限制摆物运动的单摆

测量重力加速度[J].物理实验,2019(11):59~61

- 3 Angelis M,Greco F,Pistorio A,Poli N,et al.Absolute gravity acceleration measurement in atomic sensor laboratories[J].The European Physical Journal Plus,2012(3):1~11

Skillfully Using the Highest Point of Circular Motion to Measure Gravity Acceleration

Zhu Junlin

(Kewen College,Jiangsu Normal University,Xuzhou,Jiangsu 221000)

Abstract: Gravity acceleration is an important concept in physics. Accurate measurement of gravity acceleration is of great significance for earthquake prediction and prospecting. If a ball moves in a circle in a vertical plane, and if it reaches its highest point in the vertical direction, gravity acts as a centripetal force. The centripetal acceleration of the ball at the highest point is the acceleration of gravity, which can be measured in this way. Because the ball is affected by air along the horizontal direction at the highest point, it can effectively reduce the influence of air resistance on the measurement, thus improving the accuracy of the measurement.

Key words: gravity acceleration; circular motion; centripetal force; centripetal acceleration