

基于 Phyphox 和 Origin 的简易实验设计

——定量探究向心加速度公式

李雨茜 黄泽璇 邓浩仪 张军朋

(华南师范大学物理与电信工程学院 广东 广州 510006)

(收稿日期:2022-04-21)

摘要:为探究向心加速度、角速度及转动半径之间的关系,结合 Phyphox 软件,取材日常生活中的自行车、脱水菜篮及转椅进行简易实验,并利用 Origin 软件的幂函数模型进行数据拟合,根据拟合公式直接得到向心加速度与角速度的平方成正比的结论,引导学生经历从原始数据到实验结论的完整思维过程,培养学生的科学思维和证据意识。

关键词:Phyphox 软件 Origin 软件 简易实验 向心加速度 角速度

1 问题的提出

对于向心加速度公式的教学,已有研究均是通过设计自制教具对向心加速度公式进行定量探究^[1,2],但相关教具的制作难度大且耗时长,为此,教师可充分利用已有器材和身边事物,结合手机传感器设计简易实验以确保实验的顺利开展。此外,在向心加速度公式的得出过程中,已有研究通过 $a-\omega$ 散点图呈类似抛物线的趋势而直接给出 $a-\omega^2$ 图像,并通过图像为过原点的单调递增直线得到 a 与 ω^2 成正比的结论^[3,4]。仔细思考此推理过程不难发现其中还有值得推敲之处:指数大于1的幂函数图像均具有类似于抛物线的变化趋势,为何此处只考虑平方关系?能否通过更加直接、精确的数据处理结果来说明向心加速度是与角速度的平方成正比?

基于以上原因,本文设计了定量探究向心加速度公式的简易实验,借助 Phyphox 软件测量手机做圆周运动时 a 与 ω 的数据,并应用 Origin 软件进行幂函数拟合,从拟合公式中幂指数的结果得到向心加速度的公式为 $a = \omega^2 r$,强化学生的证据意识,

培养学生严谨的科学态度。

2 探究向心加速度公式的简易实验素材

为有效利用生活中可做圆周运动的物品进行探究,此处选取演示效果较好的自行车^[5]、脱水菜篮、转椅作为示例。

(1) 自行车

将自行车水平放于一左一右两张椅子上,具体摆放方式见图1。作为测量端的手机封入透明袋中,将二者用胶带固定在后轮上,方便拿取,防止手机脱落飞出,保持车轮可顺畅转动,此时摇动自行车脚踏即可使后轮转动的同时带动手机做圆周运动。



图1 自行车横放示意图(俯视图)

(2) 脱水菜篮

当前市面上出现一种脱水菜篮,由上盖、菜篮和储水圆盒组成。使用毛巾海绵等质量较轻的杂

作者简介:李雨茜(1995-),女,在读硕士研究生,主要研究方向为物理课程与教学论。

通讯作者:张军朋(1963-),男,教授,主要从事中学物理与教学论、物理学习心理、物理教育测量与评价研究。

物顶住手机使之固定于菜篮中,为避免菜篮无法平衡导致转动不顺畅,在另一端放置与手机质量相当的物品作为配重,具体放置方式如图2.转动上盖的手柄即可带动内部菜篮中的手机进行圆周运动.

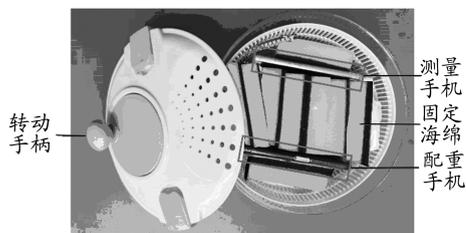


图2 用海绵将手机固定于脱水菜篮中

(3) 转椅

将生活中常见的转椅倒放如图3,手机固定在其中一个可自由转动的椅脚,当拨动椅脚时可带动手机做圆周运动.

经笔者多次实验发现,以上3种生活器材在探究向心加速度公式时均具有很好的实验效果,可供师生自行选择.本文将以自行车为例,对实验过程及数据处理环节进行详细介绍.



图3 手机固定于倒放转椅的椅脚处

3 基于 Phyphox 软件的实验数据收集

德国亚琛工业大学的 S. Staacks 等人开发的 Phyphox 软件,可调用手机中的传感器实现对加速度、角速度、压力、光照强度等基本物理量的测量^[6].图4为部分传感器位置示意图,由于传感器模块的位置接近手机的几何中心,因此,设手机的几何中心为起点,自行车后轮的转动中心为终点,用直尺测量二者的距离记为转动半径值

$$r = 0.230 \text{ m}$$

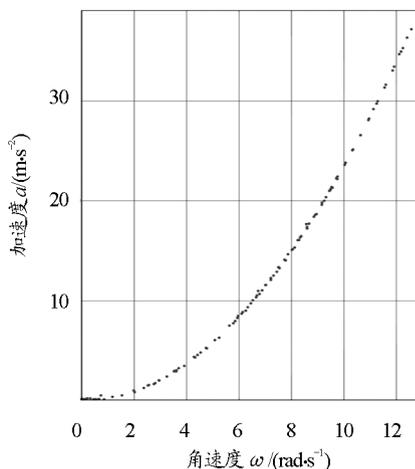


图4 华为手机上部分传感器位置示意图

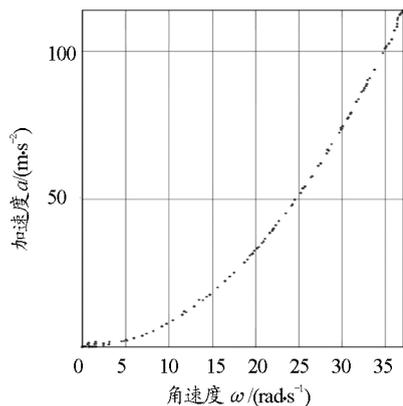
为实时显示手机做圆周运动时对应的向心加速度 a 与角速度 ω ,在手机端 Phyphox 软件的向心加速度模块设置允许远程访问,以从电脑端控制数据的采集过程.以自行车为例,后续实验操作步骤如下:

(1) 点击手机端的“▷”开始测量,随即从慢到快摇动自行车脚踏,使测量手机做角速度不断变大的圆周运动.在此过程中,学生能每隔 0.5 s 实时观察到手机从慢到快做圆周运动时,电脑端 $a-\omega$ 坐标轴上对应出现的数据点,且数据点的分布趋势有类似抛物线的特征.

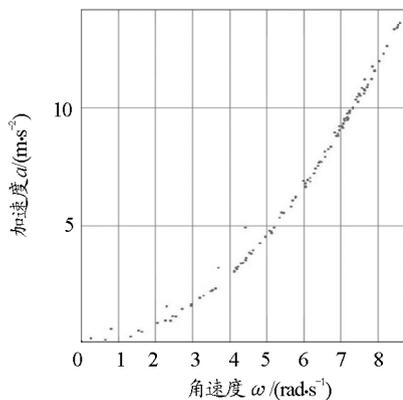
(2) 当呈现出连续、完整的数据图像时,从电脑端点击停止测量,此时 Phyphox 软件的界面即为本次实验测量所得的 $a-\omega$ 散点图,最后导出含有时间 t 、加速度 a 和角速度 ω 的 Excel 数据表格.为方便对比实验效果,图5为手机在3种生活物品上做圆周运动后手机端实验数据散点图.



(a) 自行车轮



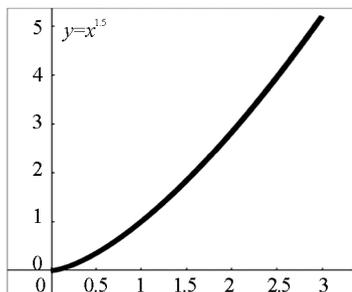
(b) 脱水菜蓝



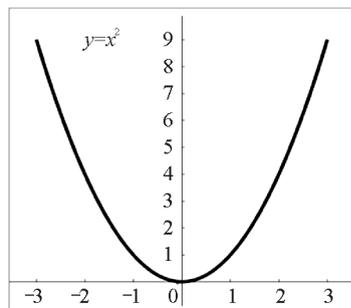
(c) 转椅

图5 手机在自行车轮、脱水菜蓝与转椅上
做圆周运动的 $a-\omega$ 散点图

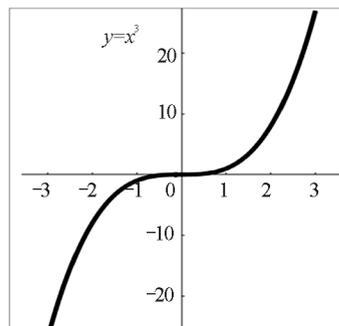
分析可知,3组数据点呈现的趋势均是过原点的单调递增曲线,向心加速度随角速度增大而增大,具有抛物线的部分特征.但仅以此趋势不能直接判断 a 与 ω 为二次函数关系,因为指数大于1的幂函数在第一象限都有可能出现这样的曲线特征,如图6所示为 $y=x^{1.5}$, $y=x^2$, $y=x^3$, $y=x^4$ 等4种幂函数的图像.此时如何确认 a 是与 ω^2 成正比,而非与 ω 的其他次方成正比关系?为了解决这一问题,本文将应用 Origin 软件进行数据拟合,应用信息技术更精确直观地探寻二者间的关系.



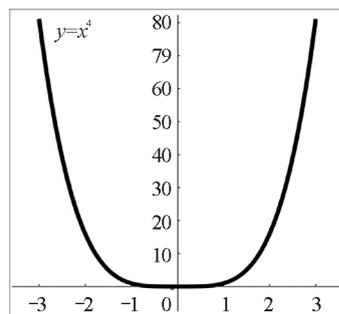
(a)



(b)



(c)



(d)

图6 几种幂函数图像

4 基于 Origin 软件的实验数据处理

Origin 的强大之处在于,可直接调用函数对数据进行拟合并绘图,尤其在非线性拟合上可以显示更多参数,拟合结果更加准确^[7].下面以手机在自行车轮上做圆周运动所收集的角速度与向心加速度数据为例,用 Origin 软件进行数据处理.

(1) 结合导出数据做散点图

本次实验共有 189 组的角速度 ω 与对应向心加速度 a ,表1为截选的8组数据.打开 Origin 软件,将所有数据导入后点击“散点图”生成图像.

表1 手机在自行车轮上收集的角速度 ω 与向心加速度 a 数据

t/s	$\omega/(\text{rad} \cdot \text{s}^{-1})$	$a/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$
0.003 7	0.044 7	0.123 9
0.503 7	0.022 5	0.104 2
1.003 8	0.018 6	0.053 4
1.504 7	0.137 9	0.113 3
2.004 7	0.738 9	0.499 4
2.504 7	1.989 5	0.989 7
3.004 8	2.962 3	1.995 9
3.509 7	3.621 1	3.009 5

(2) 选取数据拟合函数模型

由于 $a-\omega$ 散点图明显表现为非线性图像,因此在 Origin 软件中选择非线性曲线拟合. 根据数据点所呈现的趋势具有乘幂函数的曲线特征,我们选择乘幂函数模型(Allometric),以 $y=ax^b$ 的拟合公式进行数据拟合.

(3) 分析拟合公式得到结论

图7为数据以乘幂函数拟合的结果,其中“R平方(COD)”一栏作为拟合程度的指标,其数值越接近1表示函数与实际值的拟合程度越好. 本次拟合曲线的 R^2 值高达0.999 9,代表拟合程度良好. 根据拟合公式, a 与 ω 满足关系式

$$a = 0.2283\omega^{2.0114} \quad (1)$$

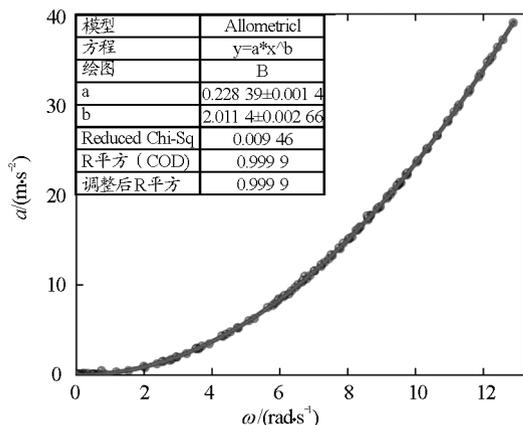


图7 以乘幂函数模型进行拟合的结果

由式(1)可知, ω 的指数为2.011 4,能更精确直观地呈现出在误差允许的范围内 a 与 ω^2 成正比关系. 拟合公式的系数为0.228 3,对比实验前用直尺

测量的转动半径值 $r = 0.2300 \text{ m}$,二者误差仅为0.739 1%.可见,本次定量探究的数据显示向心加速度、角速度与转动半径三者的关系满足 $a = \omega^2 r$. 用相同方法处理手机在脱水菜篮、转椅上做圆周运动时的数据结果,均可得到此结论.

5 结束语

相比于自制教具,结合 Phyphox 软件取材日常生活的简易实验可操作性强,且制作成本低、制作时间短,并能有效解决角速度与向心加速度难以测量的痛点,因此,本文介绍的3种生活用品均可用于教师课堂演示实验及学生课外动手实验,拓展了探究实验的实施空间. 此外,本文借助 Origin 软件进行数据拟合,以拟合公式中 ω 的指数2.011 4为依据呈现向心加速度与角速度平方成正比的关系,避免了只通过数据点的大致趋势判断变量间的函数关系,而缺乏严谨思维过程的问题. 为学生完整而清晰地展现从原始数据到实验结论的思维过程,体现物理研究的逻辑性.

参考文献

- 郭家丰,唐兴华. 基于 Phyphox 软件定量探究圆周运动各量间的关系[J]. 物理通报,2021(12):137~140
- 王盼伊,顾思漪,张璟,等. 向心加速度公式的教具制作及其教学研究——基于 Tracker 和 Phyphox 软件的定量探究[J]. 物理通报,2021(4):108~112
- 杨君. 小议高考物理实验能力和科学探究素养的考查[J]. 中国考试,2017(3):25~30
- 中华人民共和国教育部. 普通高中物理课程标准(2017年版2020年修订)[S]. 北京:人民教育出版社,2020. 52~53
- 惠宇洁. 智能手机在物理实验教学中的应用探讨——以 Phyphox 软件为例[J]. 物理教学探讨,2018,36(7):70~72
- 王亚芳,高义,陈倩,等. 利用手机 Phyphox 软件开展居家实验的实践[J]. 实验室研究与探索,2022,41(1):249~253
- 黄泽璇,张军朋. Origin 软件在高中物理课题研究中的应用[J]. 物理通报,2021(7):130~133

(下转第107页)

磁波;另一种观点认为是带电粒子流.两派观点分别得到当时的一些顶级物理学家的支持.其实,当时的物理学家都知道:只要证明阴极射线可以被磁场和电场所偏转,就意味着其本性为带电粒子.例如,赫兹就曾在1893年做过这个尝试.但是赫兹和他的学生勒纳德由于在实验中没有发现阴极射线被电场偏转以及阴极射线可以透过铝箔,而坚持阴极射线的电磁说.因为他们认为这证明了阴极射线是不带电的,而且只有波才能穿越实物.其实赫兹之所以没有观察到电场对阴极射线的明显偏转,是由于他所使用的射线管的真空度不够高,射线管中的残余气体对电子运动产生了很大影响造成了电子的偏转不明显.后来,英国的汤姆孙使用了与赫兹实验几乎相同的装置,只是改进了真空度,使真空度大幅度提高,从而观察到了电场对射线有明显的偏转作用,射线的表现与带负电粒子的行为完全相同.这就使人们确信阴极射线是带负电的粒子流(电子流).在对阴极射线的研究上,汤姆孙还对前人做过的其他实验进行改进,从而获得了该射线粒子比较全面而准确的信息,所以汤姆孙被公认为是最先发现电子的人.

4.2 类似事例

(1) 卡文迪许通过改进扭秤,完成对万有引力

常数的准确测量(《必修二》第七章第2节).

(2) 光电效应实验中,许多科学家受电极氧化造成的困扰.密立根在装置里巧妙地安置了一个可以随时转动的剃刀,当需要开始实验的时候,就转动这个剃刀刮掉电极上薄薄一层表皮,让新刮出来的表面在真空中保持清洁,从而保证了研究的顺利完成(《选择性必修三》第四章第2节).

除以上几类有趣的观察或实验外,还有非常经典的“一箭双雕”实验,如劳厄的X射线晶体衍射实验,同时证实了X射线的波动性和晶体内部的原子点阵结构,被爱因斯坦誉为物理学中最美的实验(《选择性必修一》第四章第5节).

总之,我们之所以说这些观察或实验“有趣”,是因为它们闪耀着一代代物理学家们智慧的光辉,处处散发着无穷的魅力.在教学中适当拓展介绍这些经典事迹,无疑会让学生更加爱上物理学.

参考文献

- 1 人民教育出版社,课程教材研究所,物理课程教材研究开发中心.物理必修第二册(2020年5月第1版)选择性必修第一、二、三册[M].北京:人民教育出版社,2020
- 2 程九标,张宪魁,陈为友.物理发现的艺术[M].青岛:青岛海洋大学出版社,2002.9

(上接第104页)

Simple Experimental Design Based on Phyphox and Origin

——Quantitative Exploration of the Centripetal Acceleration Formula

Li Yuqian Huang Zexuan Deng Haoyi Zhang Junpeng

(School of Physics and Telecommunication Engineering, South China Normal University, Guangzhou, Guangdong 510006)

Abstract: In order to explore the relationship between centripetal acceleration, angular velocity and radius of rotation, combined with Phyphox software, a simple experiment is carried out based on bicycles, dehydrated vegetable baskets and swivel chairs in daily life, and the exponentiation function model of Origin software is used for data fitting, and the conclusion that the centripetal acceleration is proportional to the square of angular velocity is directly obtained according to the fitting formula, guiding students to experience the complete thinking process from raw data to experimental conclusions, and cultivating students' scientific thinking and evidence awareness.

Key words: Phyphox; Origin; simple experiment; centripetal acceleration; angular velocity