

仿真环境下“摩擦振子”运动规律探究*

李鑫 范婷 杨坤 杨德正 刘云虎

(石河子大学理学院 新疆 石河子 832000)

(收稿日期:2020-01-06)

摘要:通过仿真软件 Algodoo 来探究两轮轴内转时“摩擦振子”的运动规律,并运用控制变量法进行理论分析和模拟验证,得出其所依赖的运动参数与轮轴间距、摩擦系数及初始位置有关.通过融合仿真技术手段进行模拟探究,不仅使师生的仿真技术应用能力得到锻炼,而且提升学生科学思维的高阶能力.

关键词:Algodoo 摩擦振子 轮轴内转 运动参数 高阶思维

International Young Physicists' Tournament(简称“IYPT”)全球青年物理学家锦标赛,在1988年由前苏联第一次举办,是目前国际三大物理赛事之一.每年IYPT都有17道结合生活的实际问题的开放性赛题,本着提升中学生的科学思维高阶能力的目的,选择了“摩擦振子”这道题进行探究.虚拟仿真软件探究一些创新性的实验简单易行,通过 Algodoo 软件来探究“摩擦振子”实验,并运用控制变量法进行理论分析和模拟验证,推出杆在做简谐运动过程中所依赖的运动参数.通过整个模拟实验的探究过程,从科学思维的“模型建构、科学推理、科学论证和质疑创新”4个方面分析,对提升学生的问题解决能力和创新能力甚至达到科学思维的高阶能力具有一定的教学价值^[1].

1 Algodoo 软件简介

Algodoo 是针对物理实物模型构造存在难度的环境上进行制作模拟器具和进行模拟演示的一款虚拟仿真物理实验软件. Algodoo 软件还可以设置重力、摩擦力、引力等理想物理环境下观察和演示其运动状态,直观、动态的物理模型根据情境提供各种状态参量之间的关系图.针对构建模型设置不同的参

数,观察在各种运动状态下物体的运动规律,对建构物理知识、掌握物理规律、提升物理学科素养具有较高的教学价值^[2].

若制作“摩擦振子”实验器具就需要耗费大量的人力物力,作出的实验装置也很难达到理想状态.但是,在 Algodoo 软件的操作下,建构轮轴及杆的模型,并可根据需要更改模型的参数和设置不同的运动参量,通过分析 $X(x)-t$ 图像,验证出运动所依赖的参数,从而达到了理想化实验的目的,得出实验所需要的结论.

2 “摩擦振子”实验的运动规律分析

2.1 第33届 IYPT 的赛题“摩擦振子”

赛题译文:摩擦振子

将一个巨大的物体被平放置在两个相同的水平圆筒上.两个圆筒以速度大小相同但方向相反的角速度旋转.研究在圆筒运动的物体上是如何依赖于相关参数的.

通过赛题译文,发现赛题本身对于中学生来说存在难度,如果将赛题中的实验装置改成生活中常见的器材就简单易行,如将两个水平圆筒改成学生生活中常见的轮轴,和将巨大的物体改成圆柱形

* 教育部高等学校大学物理课程教指委教学研究立项项目,项目编号:DWJZW201702xb;石河子大学混合教改专项课题,项目编号:BL2018012

作者简介:李鑫(1996-),男,在读硕士研究生,研究方向学科教学(物理).

指导教师:刘云虎(1981-),男,副教授,研究方向物理实验教学.

的长直杆来进行探究. 这将使学生更易结合生活走进实验, 也更易将理论融合到实验中.

2.2 模拟实验装置

根据对赛题的分析, 笔者创想了实验装置的模型图: 如图 1(a) 实验装置正面图所示, 两相同的轮轴放置在水平导轨上, 将橡皮条交叉连接两轮轴并固定轮轴, 以使两轮轴同速转动; 图 1(b) 为背面图, 可在轮轴的外侧挖出凹口, 便于转动轮轴.

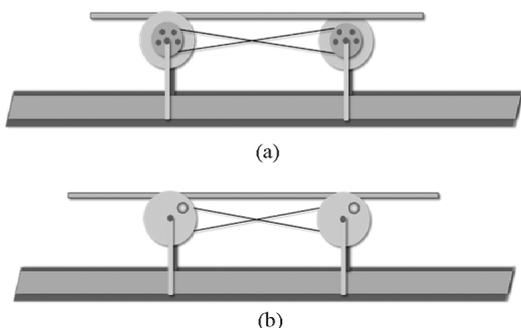


图 1 实验装置模拟图

2.3 模拟实验

根据创设的模拟实验装置, 利用 Algodoo 软件绘制模型, 设置一定的重力加速度 g 、摩擦系数 μ 、两轮轴中心的距离 L , 以及杆的长度 l 和轮轴的转速 n 等, 如图 2 所示.



图 2 Algodoo 软件模型图

打开 $X(x) - t$ 图像, 点击播放. 观察发现杆在轮轴上几乎处于静止状态. 点击暂停播放, 向右移动杆的位置使其偏向一侧, 此时杆在轮轴上做周期运动, 但若将杆移动距离过大, 杆将滑落, 如图 3 所示.

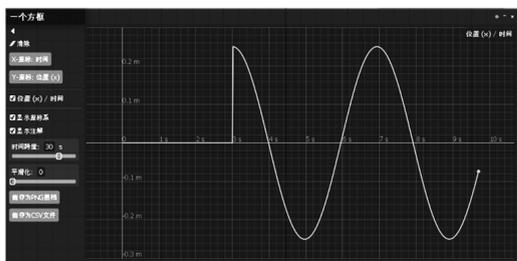


图 3 杆在轮轴上运动的 $X(x) - t$ 图像

而后笔者采用控制变量法, 猜想影响杆的运动

参量. 改变杆与轮轴之间的摩擦系数, 发现摩擦系数越大, 杆做一次周期运动时间越短; 改变轮轴的间距, 间距越大, 杆的运动周期也越长; 同时笔者改变轮轴转动速度和调整杆的长度, 对杆的运动速度以及周期大小没有影响, 如图 4 所示.

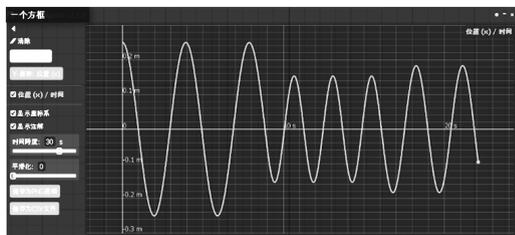


图 4 不同参数的 $X(x) - t$ 图像

由此作者推测杆的运动周期与摩擦系数以及轮轴间距有关, 同时只需要提供一个杆在轮轴上的初始位置, 就可得出杆的简谐运动方程.

2.4 理论分析

(1) 将杆放置在轮轴中心, 若转动轮轴, 此时杆的受力情况如图 5 所示.

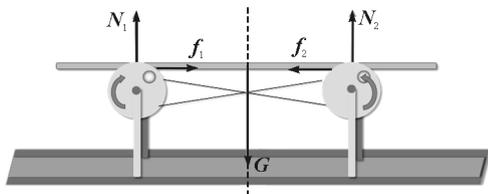


图 5 置于中心时杆的受力分析

竖直方向上, 根据力的平衡, 可知 $N_1 + N_2 = mg$; 水平方向上, 杆受到左侧轮轴的摩擦力 f_1 与右侧轮轴的摩擦力 f_2 , 两力大小相等、方向相反, 可知 $f_2 - f_1 = 0$. 根据受力分析, 此时杆应是处于静止平衡状态. 但在模拟实验中, 很难将杆置于两轮轴完全中间位置, 因此杆仍然会进行微小的简谐运动.

(2) 设以左侧轮轴为原点, 向右为正方向, 杆向右移动 x 时, 此时对杆受力分析如图 6 所示.

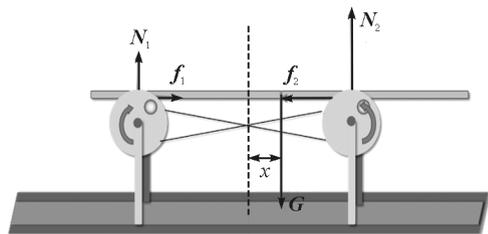


图 6 偏向右侧 x 时杆的受力分析

竖直方向上,轮轴对杆的支持力 N_1 和 N_2 会随着杆的运动而发生变化,但根据力的平衡

$$N_1 + N_2 = mg \quad (1)$$

水平方向上,杆受到的滑动摩擦力 f_1 和 f_2 同样会随之发生变化

$$F_{\text{合}} = f_1 - f_2 \quad (2)$$

以右侧轮轴为支点,设两轮轴中心距离为 L . 由转动平衡

$$mg\left(\frac{L}{2} - x\right) = N_1 L \quad (3)$$

这里我们设轮轴与杆之间的摩擦系数为 μ , 即

$$f_1 = \mu N_1 \quad (4)$$

$$f_2 = \mu N_2 \quad (5)$$

通过受力分析,将式(1)、(2)、(4)、(5)代入式(3)得到

$$F_{\text{合}} = f_1 - f_2 = -\frac{2\mu mg}{L}x \quad (6)$$

此公式满足回复力公式 $F_{\text{合}} = -\kappa x$, $F_{\text{合}}$ 与 x 反向,其中 $\kappa = \frac{2\mu mg}{L}$. 由周期公式 $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{\kappa}}$, 得出杆的运动周期是 $T = \pi\sqrt{\frac{2L}{\mu g}}$.

杆运动的角频率 $\omega = \frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{2\mu g}{L}}$, 此时 $x = A$.

由简谐运动的表达式 $X = A\cos(\omega t + \varphi)$ 可得,杆的运动学方程

$$X = A\cos \omega t = x\cos\sqrt{\frac{2\mu g}{L}}t$$

2.5 模拟验证

这里我们继续利用 Algodoos 软件对实验进行模拟验证,设置重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$ 、摩擦系数 $\mu = 0.5$, 两轮轴中心的距离 $L = 0.8 \text{ m}$, 偏向右侧位置 $x = 0.1 \text{ m}$, 得出

$$T = \pi\sqrt{\frac{2L}{\mu g}} = \frac{2}{5}\sqrt{2}\pi \text{ s} \approx 1.78 \text{ s}$$

杆的运动学方程

$$X = x\cos\sqrt{\frac{2\mu g}{L}}t = 0.1\cos 0.2\sqrt{2}t$$

根据 Algodoos 软件绘制的实验模型,设置选取的参数,然后将杆偏向右侧轮轴,打开图表,选取 $X(x) - t$ 图像,点击播放,这时通过 $X(x) - t$ 图像观察到杆的运动曲线如图 7 和图 8,选取图中第一个周期的数

据,得到周期 1.75 s ,与通过公式计算的数值近似一致,在允许误差的范围内.至于误差,笔者分析杆与轮轴之间存在压力,导致杆与轮轴之间是接触面而非理想下的接触点,因此在起始运动时存在一定的振动,会导致周期偏小.

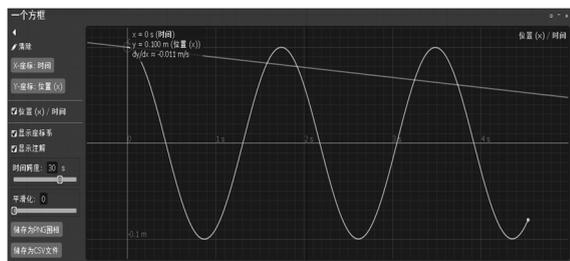


图 7 初始点

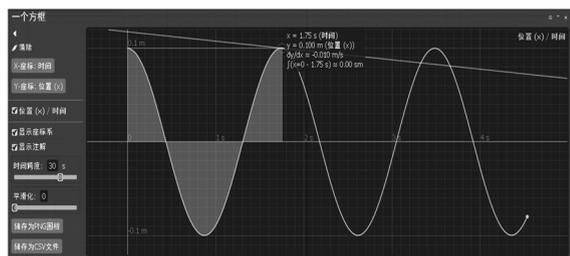


图 8 一个周期

考虑到实际情况中杆的长度为了使模拟实验验证的结论更具有可靠性,笔者继续改变轮轴的间距以及轮轴与杆之间的摩擦系数,多次验证,得到模拟实验的 $X(x) - t$ 图,如图 9 所示,将图中数据记录表 1. 通过理论值与实际值的对比,模拟实验数据的结果较好.

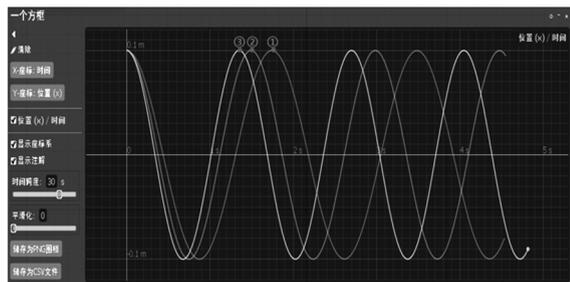


图 9 不同参数的 $X(x) - t$ 图像

表 1 模拟实验数据记录

物理量	第一组	第二组	第三组
	$L = 0.8 \text{ m}$ $\mu = 0.5$	$L = 0.6 \text{ m}$ $\mu = 0.5$	$L = 0.6 \text{ m}$ $\mu = 0.6$
理论数值 /s	1.78	1.54	1.40
实际数值 /s	1.75	1.52	1.37

2.6 模拟实验结论

通过对杆在两轮轴内转时进行分析,得出杆运

动的周期公式 $T = \pi \sqrt{\frac{2L}{\mu g}}$, 以及杆做简谐运动的运

动学方程 $X = A \cos \omega t = x \cos \sqrt{\frac{2\mu g}{L}} t$. 并使用

Algodoo 软件对参数设置固定的数值进行模拟验证,取得与理论值近乎一致的结果. 因此,在两轮轴内转的“摩擦振子实验中”只要给杆在水平方向上提供一个初始位置,杆将会做简谐运动,并得出实验中杆的运动规律与两轮轴中心的距离 L , 以及杆与轮轴之间的摩擦系数 μ 有关.

3 教学价值:培养学生的科学思维

通过分析赛题,笔者将较复杂竞赛实验创想成为一种利于中学生理解和实践的实验装置,并利用 Algodoo 软件构建物理模型,是对科学思维中的模型建构水平 5“能将较复杂的实际问题中的对象和过程转化成物理模型”的体现^[1]. 同时若将 Algodoo 软件绘制模型的能力传授给学生,让学生进行实际操作,引导学生自行制作常用的物理模型,可以很好地锻炼学生的动手实践能力和提升学生的思维水平.

进行模拟探究实验时,笔者采用控制变量法,探究杆做简谐运动的影响因素,并进行分析和推理,得出杆的运动参数与两轮轴的中心距离以及轮轴与杆的摩擦系数有关.

科学思维中的科学推理水平 5:“能在新的情境中对综合性物理问题进行分析 and 推理,获得正确结论并作出解释”提出了这种教学要求,教学中可通过引导学生根据虚拟实验模型把握模拟实验、理论分析、模拟实验验证以及实验结论整个虚拟实验课的教学环节,从而达到提高学生的分析推理和科学论证的能力^[1].

笔者使用 Algodoo 软件进行模拟实验验证,利用杆的 $X(x) - t$ 图像和 $v(x) - t$ 图像得出虚拟实验的结论,使结论更直观、可靠. 这在科学思维中的科学论证水平 5:“能考虑证据的可靠性,合理的使用证据”中有一定的体现^[1],教学中使用虚拟仿真软件进行验证能够激发学生求知、创新的欲望,发挥学生的创造力,以及促进学生对现代信息技术的使用,这些方面正是虚拟仿真软件的优点所在.

物体的平衡是力学体系的基础和核心知识,根据杆的动态平衡进行受力分析,进而延伸到将摩擦力和简谐运动的整合,是对力学知识和运动学的综合性应用. 本实验立足于力的动态平衡,是对科学思维中的质疑创新水平 5:“能从多个视角审视检验结论,解决物理问题具有一定的新颖性”的体现^[1]. 在物理教学中,利用虚拟软件验证实验的结论,有助于促进对学生发散思维的培养,从而有效发展学生的科学素养.

4 结束语

竞赛题就中学生而言有一些难度,但是在培养学生的核心素养方面有着指导性的作用,尤其是对学生科学思维高阶水平的培养. 整个模拟实验过程使学生发散思维得到多维度的锻炼和深化,将力学与运动学知识与现代教育技术软件进行有效的结合,提高了学生的问题解决能力和创新能力. 本实验是笔者从教学的角度出发进行简化来模拟探究杆在轮轴上的内转运动规律,同时赛题的本身是多角度的,还可以进行两轮轴外转探究以及对大块的物体和圆柱杆状况的深入思考和探索.

参考文献

- 1 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,2018.4~5,78~79
- 2 常晓慧,侯恕. 应用 Algodoo 仿真物理实验辅助高中物理规律教学[J]. 物理通报,2017(6):90~92