

教育技术应用

利用 Phyphox 和 Tracker 软件研究动摩擦因数

张浩 庞远舒 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:2022-07-27)

摘要:使用生活中的常见物品,分别利用 Phyphox 和 Tracker 软件获取运动物体不同位移 s 及时间 t 参数,通过绘图软件拟合获得运动物体的加速度,进而研究分析不同材料间的动摩擦因数及实验误差的来源,给疫情下的居家实验设计提供一些参考。

关键词:Phyphox 软件;Tracker 软件;动摩擦因数;居家实验

摩擦是生活中一种常见而复杂的现象.学生可以通过做实验来研究滑动物块所受的摩擦力,测定滑动摩擦中的动摩擦因数,构建完整的摩擦力知识结构.但近年来,为坚决阻断新冠肺炎疫情的传播途径,不少地区中小学出现整体居家上课的情况,使学生难以接触到斜面、滑轮和光电门等力学相关实验所需的设备.为了更好地完成教学任务,让学生在没有专业实验设备的情况下进行实验,对动摩擦因数有清晰的认识,通过选择生活中的常见物品,借助 Phyphox 和 Tracker 软件来研究滑动摩擦中的动摩擦因数.

1 理论分析

实验装置如图 1 所示,让质量为 M 的物体从与水平面成 θ 角的静止斜面上滑下.对物体 M 受力分析,其受到垂直向下的重力 Mg 的作用,还受到垂直于斜面的支持力 F_N 以及平行于斜面向上的滑动摩擦力 f_k 的作用.

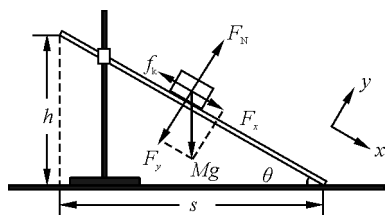


图 1 实验装置示意图

物体 M 始终在斜面上运动,在 y 轴方向不发生移动,其合力为

$$F_y - F_N = Mg \cos \theta - F_N = 0 \quad (1)$$

对物体在 x 轴方向上应用牛顿第二运动定律,其合力为

$$F_x - f_k = Ma_x \quad (2)$$

其中 $f_k = \mu_k F_N$,则式(2)为

$$Mg \sin \theta - \mu_k Mg \cos \theta = Ma_x \quad (3)$$

$$\mu_k = \frac{g \sin \theta - a_x}{g \cos \theta} \quad (4)$$

以往通过斜面来测量动摩擦因数时,须保证斜面上的物体处于匀速运动,才可测得动摩擦因数 $\mu_k = \tan \theta$.这样做有两个缺陷:一是要增加判断物体运动状态的额外设备,如通过打点计时器的纸带点距是否均匀来判断物体的运动状态,这必然带来新的误差来源^[1];其次,只能设置特定的初始条件才能完成实验,增加了实验的特殊性.

通过 Phyphox 和 Tracker 软件,求得物体运动的时间-位移数据,根据物体运动的位移公式

$$y = \frac{1}{2} a_x t^2 + v_0 t + C$$

对实验数据进行拟合处理.可精确求得物体运动的加速度 a_x ,破除物体需要做匀速运动的特殊条件,提高动摩擦因数 μ_k 的测量精度.

作者简介:张浩(1999-),男,在读硕士研究生,研究方向为学科教学(物理).

通讯作者:李德安(1974-),男,副教授,研究方向为中学物理实验教学、物理教学与教学论等.

2 实验操作

分别以木质、常用 A4 纸、常见玻璃作为实验物体底部的材料,以测定不同材料间的动摩擦因数.以下分别给出两个软件的实验操作和分析信息.

2.1 Phyphox 实验

如图 2 所示,Phyphox 实验装置包括一个涂有木蜡油的木质平面、固定斜面的架子、可以改变接触面材料的实验物体(木、纸、玻璃)、固定在实验物体上的智能手机(小米 10S)、等距固定在斜面上的 10 个钕磁铁^[2].

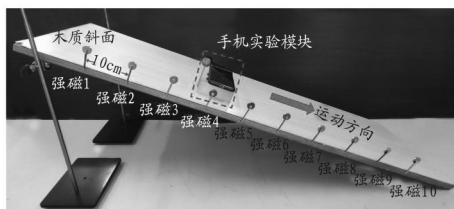


图 2 Phyphox 实验装置

在实验装置中,磁铁充当计时器的作用,准确记录实验物体经过磁铁时的时刻,保证每个磁铁的极性方向一致,设间距为 0.1 m,共获取 0.9 m 长斜面上的实验数据.实验开始前,调整斜面角度,确保实验物体能向下滑动,并用 Phyphox 软件中的斜面工具测量斜面的倾斜角 θ .然后固定斜面,保持角度不变,直到所有实验完成.

为提高测量精度,多次进行预实验,发现软件中的磁性标尺工具不能准确判断实验物体运动时的位置.因而选用 Phyphox 软件中磁力计原始传感器工具,将软件测得的两个磁感强度峰值之间的时间作为实验物体在两块磁铁之间运动的时间.经查询小米 10S 手机信息和预实验分析,发现 Phyphox 手机实验模块如图 3 设置时,所收集的实验数据最为准确.

当实验物体从斜面上端沿斜面向下滑动时,所得 Phyphox 实验数据如图 4 所示,点击更多工具,导出时间-磁感应强度的数据集.对每种材料进行 5 次重复实验,减少实验中的偶然误差,取所得实验数据的平均值.然后,利用 Origin 绘图软件对实验数据进行位移公式拟合处理,计算出时间-位移图中的加

速度值 a_x ,再通过式(4),即可得到滑动摩擦中的动摩擦因数 μ_k .

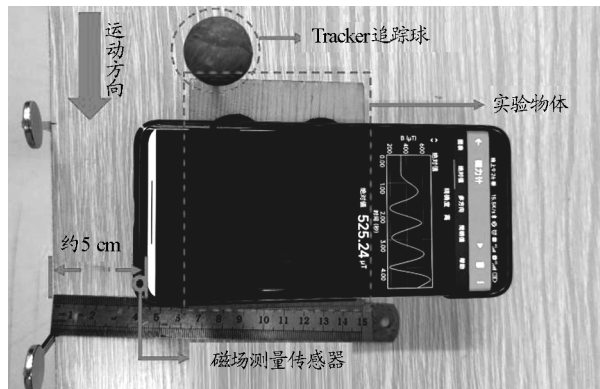


图 3 Phyphox 手机实验模块

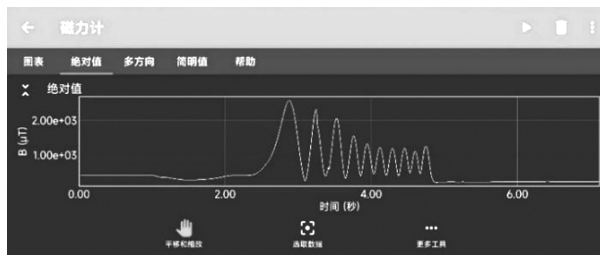


图 4 Phyphox 实验数据界面

2.2 Tracker 实验

Tracker 实验装置如图 5 所示,在 Phyphox 实验装置的前面固定一个智能手机,当 Phyphox 实验进行时,同步拍摄实验物体的运动情况.在实验物体上固定一红色小球,以便 Tracker 软件追踪实验物体的运动情况,根据实验的需要和手机的功能限制,录制视频的帧率为 120FPS.



图 5 Tracker 实验装置

将拍摄的视频导入到 Tracker 软件中,通过建立坐标系、设置定标长度、选择实验物体运动质心和追踪标点 4 个步骤,使用 Tracker 软件自动追踪选点和手动选点两种模式相结合的方法,获取时间-位移的数据集,如图 6 所示.对数据集的处理,同 Phyphox 实验.

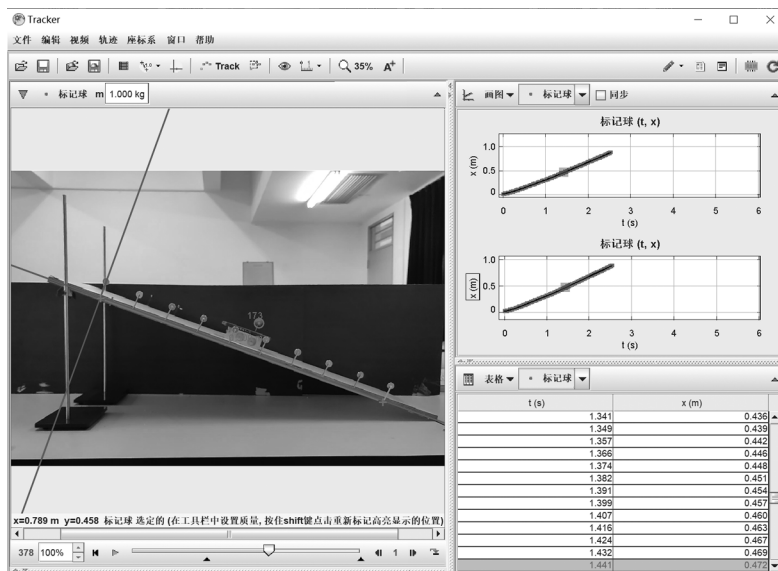
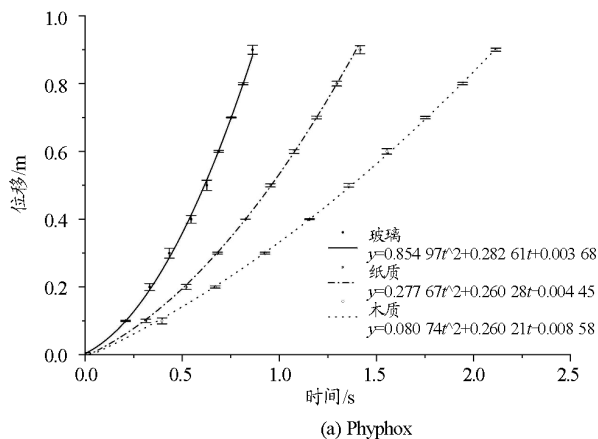


图6 Tracker实验数据界面

3 实验结果和误差分析

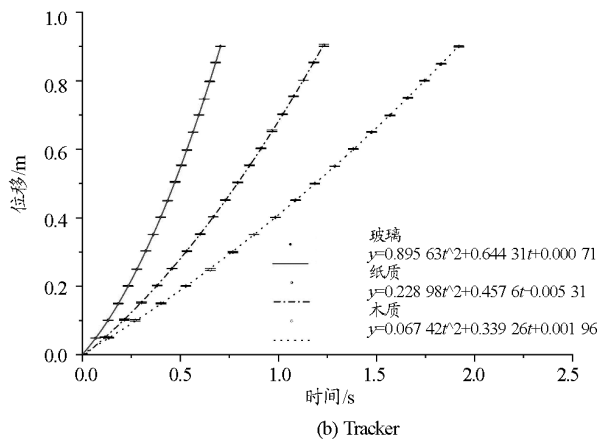
3.1 实验结果

根据实验收集到的数据,利用 Origin 绘图软件中的多项式拟合功能,画出拟合曲线,并把 Origin



(a) Phyphox

绘图软件求出的残差值(测量值与拟合值之间的差)表示在位移-时间图中.如图7所示,展现了 Phyphox 和 Tracker 软件测量不同材料所得数据的拟合曲线和公式.



(b) Tracker

图7 不同材料的位移-时间图

图7中的圆点表示实验所测得的实验数据,圆点上下两杠之间的距离表示该实验数据的残差值,距离越大则表示残差值越大.从图7中可以看到,木质的拟合曲线是最平缓的,玻璃的拟合曲线是最陡峭的,说明木质的加速度最小,而玻璃的加速度最大,且 Phyphox 和 Tracker 实验数据的拟合曲线近乎一致.但从图中可以发现,Phyphox 实验数据比 Tracker 实验数据的残差值大,并且随着加速度的增加,这种差异越发明显,由 Phyphox 玻璃实验的数据可以明显看到残差值较大.

将手机放在水平桌面上,利用手机的 Phyphox 软件中的含(g)的加速度原始传感器采集 10 s 内的重力加速度数据,对采集到的 4 086 个数据取平均值,得到广州市重力加速度的平均值为 $9.804\ 213\ \text{m/s}^2$,取 $9.80\ \text{m/s}^2$ 进行数据计算.利用 Phyphox 软件中的斜面工具测量斜面的倾斜角 θ ,多次测量取平均值 20.15° .取 g 、 θ 值及拟合曲线中所得到的加速度 a_x ,代入到式(4)中,计算得到不同材料间的动摩擦因数 μ_k 及不确定度^[3],两个软件对 3 种材料进行的实验得到近乎一致的结果,如表 1 所示.

表1 实验测得的不同材料间的动摩擦因数

材料	软件	加速度 / ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)	动摩擦因数 μ_k
木-木	Phyphox	$0.161\ 0 \pm 0.007\ 4$	$0.349\ 4 \pm 0.000\ 8$
	Tracker	$0.135\ 0 \pm 0.001\ 3$	$0.352\ 3 \pm 0.000\ 2$
纸-木	Phyphox	$0.550\ 0 \pm 0.015\ 0$	$0.307\ 0 \pm 0.001\ 7$
	Tracker	$0.458\ 0 \pm 0.002\ 6$	$0.317\ 2 \pm 0.000\ 3$
玻璃-木	Phyphox	$1.710\ 0 \pm 0.062\ 0$	$0.181\ 0 \pm 0.006\ 7$
	Tracker	$1.791\ 0 \pm 0.004\ 1$	$0.172\ 2 \pm 0.000\ 4$

3.2 误差分析

利用 Origin 软件对位移-时间进行公式拟合, 得到 Phyphox 和 Tracker 实验中的动摩擦因数 μ_k , 其误差主要来源于以下方面:

(1) 进行玻璃-木材接触面实验时, 实验物体的运动速度较快, 磁性传感器和相机传感器数据采样率不足, 产生位移偏差.

(2) 利用 Tracker 软件处理实验数据时, 视频图像分辨率不够, 放大后图像产生“马赛克效应”, 无法保证每次标点都在红球的圆心, 导致位移数据采集出现偏差, 不可避免地会产生误差.

(3) 实验物体在动摩擦因数较大的情况下, 出现短暂的“黏滞滑动”运动, 并出现不定概率的非直线运动和非稳态运动^[4], 影响物体的运动, 导致影响数据采集和处理.

(4) 实验物体和斜面的一些影响参数不容易控制, 例如表面改性或磨损碎屑的存在^[5], 带来一定的误差.

同时, 在进行实验时, 我们仍然需要注意以下 4 个事项:

(1) 选用约 1 元硬币大小的圆形钕磁铁, 间距控制在 0.1 m 及以上, 有利于 Phyphox 软件得到准确数据. 钕磁铁的摆放高度、磁性方向要保持一致, 否则实验难以得到理想效果.

(2) 磁性传感器在手机里的位置随不同型号的手机而变化, 建议通过预实验确定手机磁性传感器的位置, 使运动中传感器与钕磁铁位置最近, 增强 Phyphox 实验数据的准确性, 同时也提高 Tracker 软件追踪小车红球运动所在位置的精确度.

(3) 摆放用来拍摄运动物体的手机要正对 10 个钕磁铁, 角度要不偏不倚, 拍摄距离不宜过近, 不建议使用手机的超广角摄像功能, 其造成的物体畸变会造成 Tracker 软件数据处理失实.

(4) 尽可能选用高像素、具有高速摄影功能的手机, 实验时保证光源充足, 有利于 Tracker 软件追踪实验物体的运动.

4 结束语

本文利用 Phyphox 和 Tracker 软件获取实验物体运动的位移-时间数据, 进而通过求得实验物体的加速度测定了不同材料间的动摩擦因数. 结果表明 Phyphox 和 Tracker 软件可以获取较为精准的数据, 且实验取材于生活常见物品, 易于居家自主进行探究实验.

随着近年线上教育快速发展和疫情的影响, 学生在校外、家里使用易获取的材料进行的居家实验, 也成为发展学生实验能力的一条重要途径. 该居家实验使用 Phyphox 和 Tracker 软件对动摩擦因数进行研究, 打破了实验只能在实验室做的闭合思维, 教学和实验方式较传统实验有了极大的改变; 其次, 学生居家进行该实验过程中, 可以探索动摩擦因数的测量过程和研究实验误差来源, 培养学生在实验中的自主性和探究精神; 最后, 手机内置丰富多样的传感器和软件简单易用多功能的特点, 给该实验拓展设计带来了极大的开放度, 教师可以鼓励学生在完成该居家实验的基础上, 尝试利用所学到的实验思路和方法, 借助 Phyphox 和 Tracker 软件, 自主地进行力学模块其他内容的实验研究, 增强学生实验的创新意识和创新能力.

参考文献

- [1] 杨介信, 张大同. 中学物理实验大全[M]. 上海: 上海教育出版社, 1995: 183.
- [2] Coramik M, rek H. Calculation of kinetic friction coefficient with Phyphox, Tracker and Algodoo[J]. Physics Education, 2021, 56(6): 065019.
- [3] Taylor J. 误差分析导论: 物理测量中的不确定度[M]. 2 版. 王中宇, 译. 北京: 高等教育出版社, 2015: 14-16.
- [4] Baldock C, Johnson R. Investigation of kinetic friction using an iPhone[J]. Physics Education, 2016, 51(6): 065005.
- [5] Liguori A, Ruggiero, D. Russo and P. Sommella. Accurate measurement of dry friction coefficient using reciprocating tribometer[J]. 2018 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), 2018: 1-6.