

教育技术应用

利用 Tracker 定量揭示真实的“双斜面实验”

张玉玲 彭朝阳

(云南师范大学物理与电子信息学院 云南 昆明 650500)

(收稿日期:2016-05-13)

摘要:使用智能手机对双斜面实验过程录像,再现实验过程;并利用物理开源软件 Tracker 对斜面上运动的小球进行了较为准确的定量分析,通过实际数据与理论分析结合的方式,揭示出真实的双斜面实验。

关键词:双斜面实验 定量分析 Tracker 软件

1 引言

伽利略“理想斜面实验”包含单斜面实验与双斜面实验,无论是真实的斜面实验,还是理想斜面实验,都反映了伽利略关于力与运动的思考^[1]. 在新课程改革后的教材中,高中物理人教版第四章第一节“牛顿第一定律”^[2]对于双斜面实验以频闪照片组合图的形式,分别呈现出小球在3种不同倾角情况下,对应的运动情况。“让小球沿一个斜面从静止状态开始向下运动,小球将冲上另一个斜面,如果没有摩擦,小球将上升到原来的高度,减小第二个斜面的倾角,小球仍将到达同一高度,但小球要运动的远些”,按照教材中的描述,小球从斜面一端自由释放到达斜面另一端的高度仅受摩擦力的影响.但实际上,若斜面另一端倾角较大,小球在冲向斜面另一端时,会在斜面底部发生碰撞,损失能量.在这种情况下,小球在斜面另一端运动的实际高度与远近,不仅受摩擦力影响,还受到斜面另一端倾角大小的影响.

基于以上分析,本文将控制斜面一端倾角不变,改变斜面另一端倾角大小,对斜面上小球的运动过程进行录像,利用 Tracker 软件较为准确地追踪小球到达斜面另一端的位置.其次,通过建立坐标轴、定标杆,使测量方法更为科学合理.最后,结合形象直观的图像、表格进行定量分析,通过能量转化与守恒的理论,进一步阐述真实的双斜面实验中影响小

球运动高度的因素,从而更深刻地理解伽利略理想双斜面实验的真正理想之处.

2 利用 Tracker 对“双斜面实验”的定量分析

2.1 实验器具

实验过程所用器具:(1)小钢球(直径为1.50 cm,略大于钢条间距);(2)钢条双斜面(总长约为1.800 m,在0.23 m处弯折成间距为1.10 cm的双轨斜面)及带有底座的支架;(3)长度为30.00 cm的塑料尺(作为定标物)、胶带及A4纸打印的纸质量角器;(4)普通智能手机;(5)一个三脚架(可固定手机即可);(6)Tracker4.90版.

2.2 实验步骤

(1)放置实验器材:将长度为30.00 cm的塑料尺、纸质量角器用胶带粘贴在白色墙面上;手机固定在三脚架上(使镜头与实验平面垂直,以减小由于视觉误差而带来的空间长度测量误差^[3]);斜面置于水平桌面上,调节斜面两端夹角,使斜面底部对准纸质量角器中心处,斜面一端对准量角器 50° ,控制其倾角不变,另一端用带底座的支架固定,如图1所示.通过此方法无须将斜面固定在底座上则可控制斜面一端倾角始终相同.

(2)录制视频:打开手机录像界面,确定所录空间范围;将小球置于斜面一端最高处自由释放,小球冲上斜面另一端最高处,录制小球的整个运动过程;

作者简介:张玉玲(1991-),女,在读硕士研究生,研究方向物理课程教学论.

通讯作者:彭朝阳(1971-),男,教授,研究方向物理课程教学和天体物理.

接着,逐渐增大两斜面间的夹角,底部仍对准纸质量角器中心处,控制斜面一端倾角不变,进而减小斜面另一端的倾角;同样使相同的小钢球从斜面一端最高处再次自由释放,4次改变斜面另一端倾角,录制小球在整个斜面上的运动过程。

(3) 导入视频:将所录制的视频导入到电脑上,打开 Tracker 软件,通过菜单栏单击“视频—导入”,即可导入成功。

(4) 建立坐标轴、定标杆:点击“新建坐标轴”,选择斜槽底部为“坐标原点”,建立二维直角坐标系;选择塑料尺 4.00 cm 处为起始位置,结束位置为 14.00 cm,设定此长度为 0.100 m,作为视频分析中的定标长度,分析中均为国际单位。

(5) 视频剪辑:点击界面下方视频播放按钮,以上所有实验过程可全部再现。选择界面左下角显示为“帧”,帧率为 0.033 s,3 帧为 0.1 s。确定视频所要分析的起始帧和结束帧后点击“视频剪辑”,设置起始帧为 45 帧,结束帧为 58 帧,间隔 13 帧,即时间为 0.433 s。

(6) 追踪研究对象:为了更为准确地确定每一帧对应的小球位置,在追踪前,可滑动鼠标,适当放大或缩小画面;创建质点 A,追踪小球的轨迹,则设定质点 A 为圆,按住 shift 键,单击鼠标,开始追踪小球的轨迹,每一帧点击一次不能遗漏;每单击一次,右侧界面会出现相应的时间 t 与小球所在位置 x, y 的关系图像及表格;表格中 θ 表示每一帧小球所在位置与坐标原点 O 连线和 x 轴正方向的夹角,为了简化,可用 θ 近似表示出斜面倾角大小。

第一种情况,斜面一端即图中右端倾 57.3° ,另一端即图中左端倾角为 49.7° 时,小球运动轨迹追踪图像及每一帧对应的坐标位置,如图 1 所示。

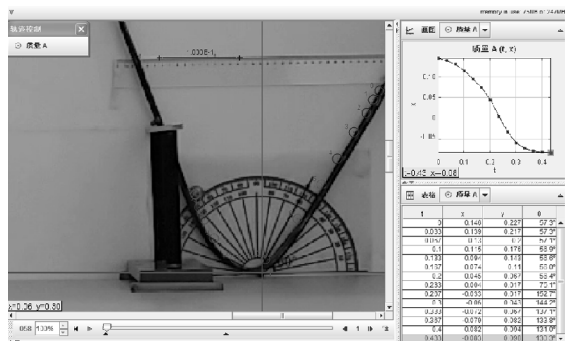


图 1 小球运动轨迹追踪图

标为 x , 纵坐标为 y , 则关于小球在斜面上的运动位置图像如图 2 所示。

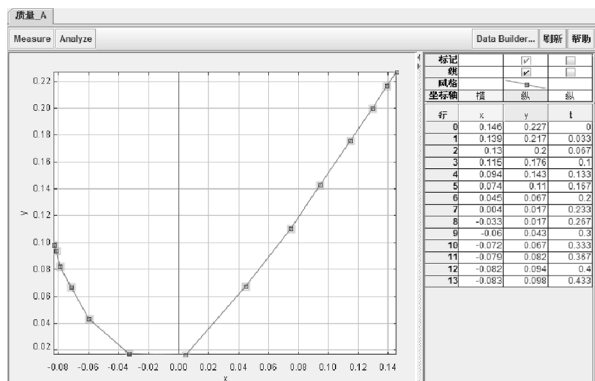


图 2 小球运动位置 $x-y$ 图

重复步骤(5)、(6),选择剩余 4 种不同倾角所对应的起始帧和结束帧,新建质点 B, C, D, E , 依次追踪即可,也会出现如上图 1,2 所示的关于小球追踪轨迹及位置图像。选择分析的最小帧数、最大帧数范围,任意单击其中一个质量,对应的图像数据都会再次出现,若单击 E 质点,则如图 3,4 所示。

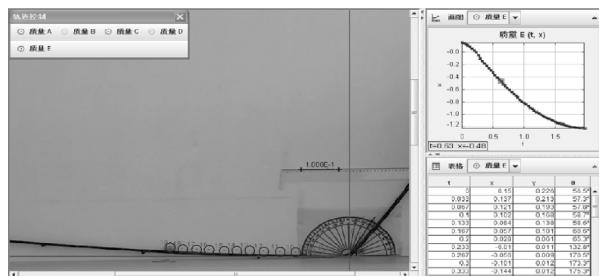


图 3 小球运动轨迹追踪图

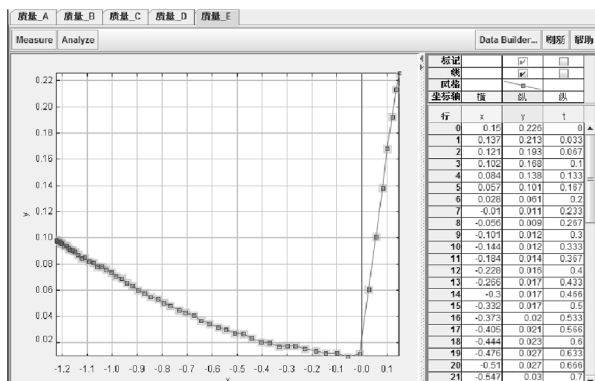


图 4 小球运动位置 $x-y$ 图

2.3 结果分析

通过以上视频分析,观察小球 $x-y$ 图像,运动轨迹一目了然,通过表格中的数据,小球所到达的高度、远近也能较为准确的确定。分析整理得到如下实验数据,如表 1 所示。

在表格处单击鼠标右键,点击“分析”,选择横坐

表1 数据记录表

x_1/m	y_1/m	x_2/m	y_2/m	$\theta_1/(\text{°})$	$\theta_2/(\text{°})$	t/s
0.146	0.227	0.083	0.098	57.3	49.7	0.433
0.149	0.227	0.168	0.123	56.7	36.3	0.533
0.150	0.230	0.307	0.136	56.9	23.9	0.766
0.151	0.229	0.650	0.128	56.6	11.1	1.366
0.150	0.226	1.225	0.098	56.5	4.6	1.966

x_1 : 小球在斜面右端初始位置在水平方向上距坐标原点的距离;

y_1 : 小球在斜面右端初始位置在竖直方向上距坐标原点的距离;

x_2 : 小球到达斜面左端最高点在水平方向上距坐标原点的距离;

y_2 : 小球到达斜面左端最高点在竖直方向上距坐标原点的距离;

x : 小球在斜面左端运动的实际距离;

θ_1 : 小球初始位置与坐标原点连线和 x 轴正方向的夹角, 近似表示斜面右端倾角;

θ_2 : 小球结束位置与坐标原点连线和 x 轴负方向的夹角, 近似表示斜面左端倾角;

t : 小球从斜面一端以一定高度自由释放运动到斜面另一端最高处所用时间。

数据分析: 在改变倾角过程中, 每次所追踪的小球初始位置均有所变化, 但水平方向上 x_1 相差不超过 5.0 mm, 相对误差为 0.192 3%。竖直方向上 y_1 不超过 4.0 mm, 相对误差为 0.164 3%, 均在允许的误差范围内, 说明实验数据有效。以上数据记录表明, 当小球从斜面一端的同一高度处自由释放后, 在倾角 θ_2 由 49.7° 逐渐减小到 4.6° 的过程中, 小球先后到达斜面另一端的高度 y_2 依次为 0.098 m, 0.123 m, 0.136 m, 0.128 m, 0.098 m, 即小球所到达的高度先增大后减小, 而在斜面上运动的距离 x_2 却是越来越远, 依次为 0.083 m, 0.168 m, 0.307 m, 0.650 m, 1.225 m。

若设小球从斜面一端自由释放时所具有的重力势能为 E_{p0} , 小球到达斜面另一端最高处的位置所具有的重力势能为 $E_{p末}$, 小球克服摩擦力做功为 W_f , 由能量的转化与守恒得

$$E_{p0} = E_{p末} + W_f \quad (1)$$

小球每次从同一斜面同一高度自由释放, E_{p0} 的值可视为不变, 由数据分析及式(1)可得, 在倾角

θ_2 逐渐减小的过程中, x 逐渐增大即克服摩擦力做功 W_f 随之增大, $E_{p末}$ 应该越来越小, 即小球到达斜面另一端的高度 y_2 逐渐减小, 但实际却是先增大后减小。鉴于以上矛盾, 笔者分析, 出现这种现象的原因是在倾角较大时, 小球运动到斜面另一端底部与斜面发生碰撞, 产生较大能量损失, 设碰撞过程中, 能量损失为 $E_{损}$, 式(1)转化为

$$E_{p0} = E_{损} + E_{p末} + W_f \quad (2)$$

通过式(2)便可解释, 在 θ_2 由 49.7° 减小到 23.9° 的过程中, $E_{p末}$, W_f 增大, 要满足式(2), 则 $E_{损}$ 减小。此时倾角逐渐减小的过程中, 小球与斜面另一端碰撞的能量损失减小, 小球运动的距离却越来越远, 高度越来越高。若能量损失减小至很小时, 小球到达斜面另一端的高度 y_2 达到最大值。若继续减小斜面另一端倾角 θ_2 , 小球在斜面上运动的距离 x 仍然继续增大, 所到达的高度 y_2 随着 θ_2 的减小而减小。

3 结束语

综上所述, 在实际双斜面实验中, 小球到达斜面另一端的高度会受到两个因素的影响: 一是克服摩擦力做功; 二是碰撞所产生的能量损失。若斜面倾角较大时, 小球到达斜面底端发生碰撞所产生的能量损失也很大, 到达斜面另一端所具有的动能与重力势能必然较小, 因此小球在斜面上运动的距离、高度值均很小; 当倾角逐渐减小时, 碰撞能量损失随之减小, 小球运动的高度增大直至达到最大值。因此, 对于伽利略理想双斜面实验, 不能简单地说, 不计摩擦, 无论斜面另一端倾角如何, 小球将会到达斜面等高处。理想双斜面实验要成立, 则要求斜面倾角较小, 到达斜面另一端碰撞所产生的能量损失几乎可忽略不计。本次实验不仅能确定小球每一帧对应的位置, 相比之前所采用的用眼直接观察以确定小球到达斜面另一端最高处的位置, 更为科学合理; 不足之处在于, 自制的钢条双斜面, 很难保证斜面的倾角处处相等。

参考文献

- 1 马艳华. 解读伽利略的斜面实验. 物理教师, 2014(5): 68~69
- 2 张大昌. 普通高中物理教科书必修1. 北京: 人民教育出版社, 2009. 68
- 3 丁晓彬, 董晨钟. 基于2D开源视频分析和建模软件Tracker研究抛体运动. 大学物理, 2012(7): 34~36