

利用 Tracker 软件分析验证牛顿第二定律

吴宏伟

(西北师范大学教育学院 甘肃 兰州 730070)

(收稿日期:2016-09-30)

摘 要:利用 Tracker 软件分析了验证牛顿第二定律的实验视频,验证了物体加速度的大小与它所受到的作用力成正比,与它的质量成反比,加速度的方向与作用力的方向相同。

关键词:Tracker 软件 牛顿第二定律 视频

1 引言

牛顿第二定律是高中物理学科中的重要概念,也是学习物理的难点和重点. 牛顿第二定律在高中阶段物理知识的学习中起着承上启下的作用,牢固掌握牛顿第二定律的内涵,有利于学生学习受力分析,为解决力学综合问题奠定坚实基础. 验证牛顿第二定律常用的实验方法是利用打点计时器打点,通过纸带计算物体的加速度,虽然这种方法简单方便,但在实际教学过程中存在的问题主要是:需要花

费大量时间,实验所选器材远离学生的现实生活,不能反复呈现实验现象等. Tracker 软件是一种广泛使用的视频分析软件,通过分析物理实验视频,追踪研究对象的运动轨迹,以简洁、高效的数据分析手段揭示物理现象背后所隐藏的物理规律. 利用 Tracker 软件的自动追踪功能,有效地跟踪滑块的运动轨迹,同步描绘出滑块运动的加速度-时间图像,可精确测得滑块运动的加速度,从而验证牛顿第二定律.

Discussion on Experimental Teaching Method of Measurement of Air Specific Heat Capacity Ratio Using Adiabatic Expansion Method

Bi Huiying

(Tianjin College, University of Science and Technology Beijing, Tianjin 301830)

Abstract: Aiming at the problem of errors from air specific heat capacity ratio measurement, an experimental teaching method for decreasing errors was proposed. This method presupposed the relative error was less than 3%, and then the measurement reference values were deduced. The Personalized experimental program was established. It was used to guide students for fulfilling the experiment. As a result, the uncertainties, always occurred in the experiment, were controllable effectively and the experimental error were reduced. The expected results have been achieved.

Key words: air specific heat capacity ratio; experimental teaching method; experimental error, measurement range

2 利用 Tracker 软件分析验证牛顿第二定律

2.1 用数码相机拍摄滑块运动的视频

本实验用到的器材主要有气垫导轨、滑块、电子天平、定滑轮、挂钩及砝码等,实验装置如图 1 所示.实验过程中采用控制变量法,当固定滑块质量 m 不变时,通过改变挂钩及配重块的质量,从而改变合外力 F 的大小,可以测得加速度 a 与合外力 F 之间的关系;当固定挂钩及配重块的质量不变时(合外力 F 恒定),改变滑块质量 m ,可以测得加速度 a 与滑块质量 m 之间的关系.因此,本实验分别从以上两个方面拍摄滑块运动的视频.

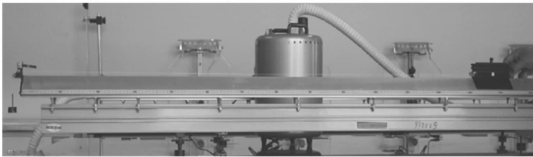


图 1 验证牛顿第二定律实验装置

2.2 利用 Tracker 软件分析拍摄的视频

打开 Tracker 软件,选择主菜单的“视频-导入”按钮,将视频加载,通过“视频剪辑设定”对视频研究的起始帧进行设定,并按下列基本步骤进行分析.

(1) 设定参考坐标.选择“轨迹-坐标轴”建立直角坐标系,为了便于分析,该坐标系的横轴位于水平位置,如图 2 所示.



图 2 视频分析界面

(2) 进行参考尺寸的定标.选择定标工具对长度定标,以场景中预先测量好的长度作为参考尺寸

进行定标,从而使软件能够计算出视频中研究对象在运动过程中的实际位移.

(3) 选择研究对象.本实验的研究对象是滑块,选择“轨迹-新建-质点”按钮,创建质点“Mass A”代表滑块.

(4) 进行轨迹控制.按住 Shift + Ctrl,出现 1 个圆圈,通过这个圆圈标示出本实验选择的研究对象——滑块,在后面的视频中软件可以自动追踪滑块的加速度随时间如何变化.

(5) 显示图像,依据获取的加速度和时间坐标,Tracker 软件可以绘制出滑块加速度 a 随时间 t 的变化曲线,如图 3 所示.

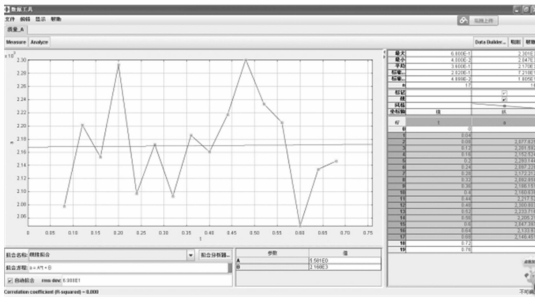


图 3 滑块运动的 $a-t$ 图像分析

(6) 保持合外力 F 不变,改变滑块的质量 m ,或保持滑块的质量 m 不变,改变合外力 F ,对所拍摄的视频,利用 Tracker 软件逐个进行分析.

2.3 实验数据收集及处理

当保持合外力 $F = 0.3456 \text{ N}$ 恒定,改变滑块的质量 m 时,测得对应的加速度 a ,如表 1 所示.其对应的理论值 $a_{\text{理}}$ 与相对误差 E_r 也一并列出.

表 1 保持 F 恒定, m 不同时所对应的加速度

m/kg	$a/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$	$a_{\text{理}}/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$	$E_r/\%$
0.151 3	2.170 1	2.284 2	-5.0
0.212 9	1.582 1	1.623 3	-2.5
0.362 1	0.867 4	0.954 4	-9.1
0.436 1	0.717 6	0.792 5	-9.4
0.514 0	0.619 7	0.672 4	-7.8
0.637 5	0.530 0	0.542 1	-2.2

验证牛顿第二定律实验中 $a - \frac{1}{m}$ 图像,如图4所示.

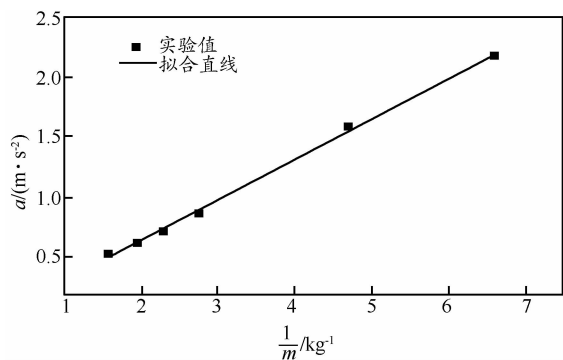


图4 验证牛顿第二定律 $a - \frac{1}{m}$ 图像

当保持滑块的质量 $m = 0.185\ 3\ \text{kg}$ 不变,滑块所受的合外力 F 变化时,对应加速度 a 的理论值及实验值如表2所示.

表2 m 保持恒定, F 不同时所对应的加速度 a

F/N	$a/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$	$a_{\text{理}}/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$	$E_r/\%$
0.048 8	0.249 7	0.263 4	-5.2
0.146 9	0.776 5	0.792 8	-2.1
0.244 8	1.199 8	1.321 1	-9.2
0.342 8	1.806 9	1.841 0	-1.9
0.440 7	2.262 5	2.378 3	-4.9

验证牛顿第二定律实验中 $a - F$ 图像,如图5所示.

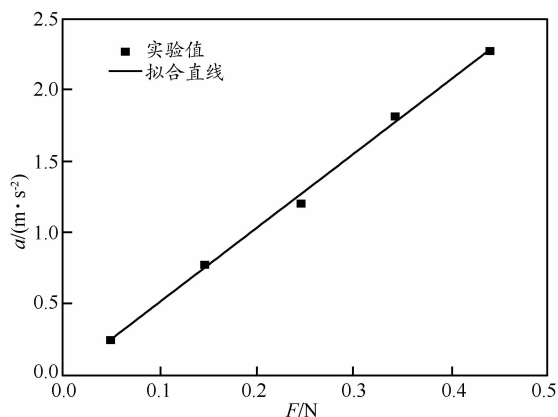


图5 验证牛顿第二定律实验中 $a - F$ 图像

2.4 误差分析

(1) 滑块在运动过程中受到气垫导轨对滑块的摩擦力.

(2) 滑块在运动过程中以及重物在下落过程中会受到空气阻力.

(3) 实验过程中忽略了细线的质量,细线本身也有质量,细线所受重力使合外力 F 会变大,从而导致所测加速度 a 会偏大.

如果将上面的因素考虑进去,实验结果的精度会进一步提高.

3 结束语

使用最小二乘法对实验点进行了直线拟合,如图4和图5所示.可以发现,所有的实验点几乎都在拟合直线附近,拟合得到其相关系数分别为0.997 0和0.997 62,说明 $a - F$, $a - \frac{1}{m}$ 线性关系非常好.因此,可以得出结论:在误差允许的范围内,物体加速度的大小与它所受到的作用力成正比,与它的质量成反比,加速度的方向与作用力的方向相同.

参考文献

- 丁晓彬,董晨钟.基于2D开源视频分析和建模软件Tracker研究抛体运动实验.大学物理,2012,31(7):34~36
- 吴肖,朱道云,胡峰,等.利用视频分析软件Tracker研究皮球的弹跳.物理实验,2013,33(7):40~42
- 吴志山.让真实定量、定格——Tracker软件在物理学中的应用.物理教师,2012,33(7):52~54