

简谐运动实验的创新设计

曾裕，余杰

（舟山中学教育集团舟山二中，浙江 舟山 316000）

摘要：本文分别介绍了通过频闪照相和拍摄视频两种方法来记录简谐运动的振动图像，并通过软件分析得到简谐运动的规律，凸显了现代信息技术在物理实验教学中的应用。

关键字：频闪照相；视频分析；简谐运动

1. 通过数码相机慢门留迹获得振动图像

传统的简谐运动图像演示装置的设计思想是：通过使坐标纸匀速移动建立时间轴，并设法在作图纸上留下振子在不同时刻的位置得到振动图像，比如用沙漏、水漏、毛笔、电火花留迹等。这些装置在操作时比较复杂，不够简洁，而且即使得到振动图像后，也不能直接说明图像是正弦函数。为此，我们做了以下改进。

将一个普通的 LED 灯安装在竖直运动的弹簧振子上，并在平衡位置固定一个不同颜色的 LED 灯（如图 1），将照相机固定在小车上，并放置在水平导轨上，通过电动机拖动小车，使照相机在轨道上一边匀速直线运动，一边曝光，调节曝光时间为 2s 使照相机在停止运动前一刻完成拍摄（如图 2），就可以得到弹簧振子位移随时间变化的图像。把图片拷到电脑上后，用 PPT 软件打开用上述方法获得的弹簧振子的振动图像，再打开一张标准的正弦函数图像，调整图片的透明度和大小会发现两者正好重合（如图 3），学生在高一学习了三角函数后知道，一个正弦图像经坐缩放、平移坐标后还是正弦函数，而振动图像与之重合，使学生信服了简谐运动的振动图像为正弦函数图像。

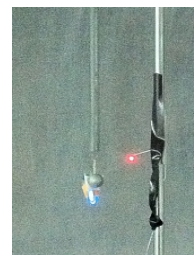


图 1



图 2

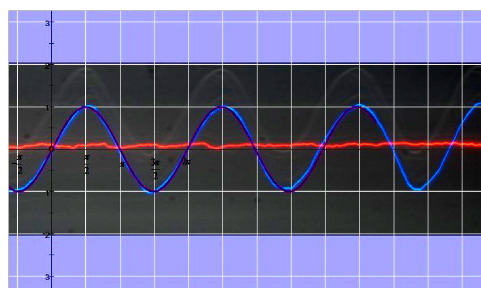


图 3

此外，我们还发现一种常见的手摇 LED 频闪玩具（如图 4），能发出频率稳定在 25Hz 的频闪光，LED 放光效率较高，拆开玩具我们看到内部电路元件集成小巧，可以很方便的安装在各种运动物体上，实现“自闪式频闪摄影”。我们将它安装在竖直弹簧振子重复上述实

验得到振动图像如图（5）图像中，学生很容易发现振子在不同位置的速度大小不同，平衡位置最大，振幅处最小。

此实验的创新在于利用匀速移动相机建立时间轴，利用相机慢门长时曝光记录振子在不同时刻的位置，获得的照片即振动图像可立即向学生投影展示，并巧用 ppt 软件使其与正弦函数图象对比拟合。此实验结合了简单的摄影和计算机技术，可以当堂演示，效果明显、原理简单、器材易得，有助于培养学生的实践与创新意识。

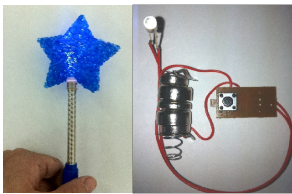


图 4

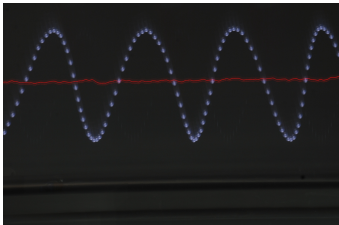


图 5

2. 通过视频分析软件动态分析简谐运动规律

用普通数码相机在课堂上录制好弹簧振子运动的视频（帧率为 1/30 秒）后，用 Tracker 视频分析软件打开视频。用“坐标轴”工具，在视频中建立直角坐标系，取平衡位置的位移为 0。用“定标棒”或者“定标尺”工具对视频中标记位置定标并输入实际距离 16cm。然后利用鼠标逐帧点击运动物体的位置（笔者实际取了 66 个位置，费时不超过一分钟），软件随即记录了物体运动的时间和实际位移，软件自动通过计算连续相等时间间隔平均速度得到各点的瞬时速度，同理通过计算连续相等时间的平均加速度算出各点的瞬时加速度，并在表格和 $y-t$ 、 v_y-t 、 a_y-t 图中显示。点击播放按钮，软件可以实现视频、表格数据、以及三个图像五者同步逐帧显示（如图 6 中五处标记处），而且可以反复重放、倒放、任意帧暂停，学生可以清楚地发现各物理量在各时刻的特点，并加以对比分析，比如在位移为正向最大的时候，速度为 0、加速度为负向最大。在 $y-t$ 图上右击选择分析选项，弹出“数据工具”窗口，对 $y-t$ 图进一步曲线拟合，发现 $y-t$ 图为正弦曲线（如图 7），其函数方程为： $y=-0.075\sin(-7.975t-3.101)$ ，从而自然引出简谐运动的概念。同样通过“数据工具”对 v_y-t 、 a_y-t 图像进行曲线拟合，发现也为正弦曲线（如图 8、9），函数方程分别为 $v_y=0.588\sin(-7.979t-1.527)$ 、 $a_y=4.628\sin(7.989t-7.142)$ ，比较三个函数图像和方程后还可以发现：三者角频率相同， v_y-t 图超前 $y-t$ 图 $\pi/2$ 相位， a_y-t 图与 $y-t$ 图反相等特点。软件使学生从图像和数学函数上实实在在的看到了物体做简谐运动时这三个物理量动态变化的规律，使我们的物理实验教学变得意想不到的方便和直观。

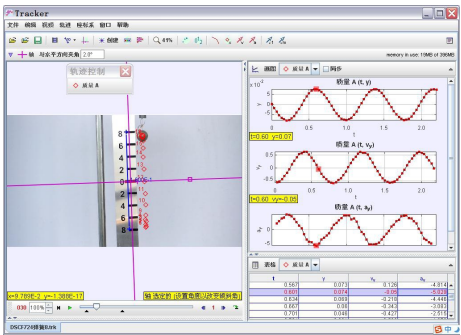


图 6

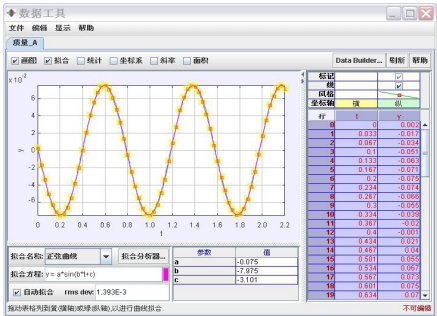


图 7

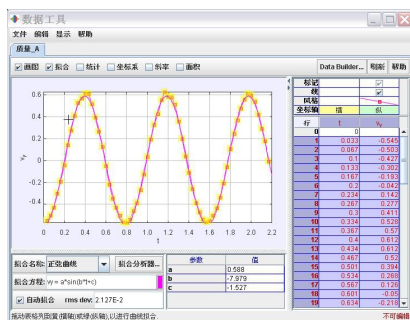


图 8

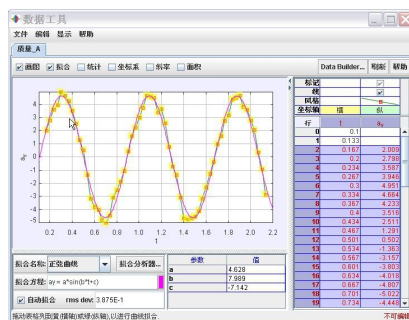


图 9

实验视频是对振子运动的真实记录,利用视频分析软件对视频直接分析即保证了实验真实性又大大提高了实验的效率。以往的数字化实验软件往往直接得到结果,使实验凭添神秘感,用 Tracker 软件处理时则完整呈现了实验数据的采集过程,而且原理简单,通过学生熟悉的计算连续相等时间间隔平均速度方法得到各点的瞬时速度,通过计算连续相等时间间隔平均加速度得到各点的瞬时加速度,学生易于理解、乐于接受。软件使实验分析达到了真实可视、多维同步的观察效果,还使学生对实验的感性观察、理性分析、逻辑思考三维同步,以达到思维上的“谐振”。有助于训练学生应用数学方法处理物理问题的能力,培养学生的科学思维能力。如果说第一个实验只是非常简洁的证明弹簧振子做简谐运动,那么这个实验则使学生更进一步了解到简谐运动各物理量的变化规律、运动学方程及各物理量的关系,这是以往的实验所望尘莫及的。