

探究小球二维碰撞动量守恒的方法与比较

□ 刘 成 项 华

【摘要】目前中学物理教学与实验一般只涉及两小球在直线上的碰撞，二维碰撞运动是新内容。笔者运用文献研究法和实验方法，分别利用数码相机的“连拍合成技术”“高速连拍技术”和“摄像技术”对两球斜碰过程进行图形获取、图像处理、数据分析，分析总结出尽量减小验证二维动量守恒实验误差的技术方法，以便增强课程的科学性、可操作性与趣味性，进而提升学生的探究能力。

【关键词】视频分析法；数码相机；二维动量守恒；拍摄技术；误差

【中图分类号】G434 **【文献标识码】**B

【论文编号】1671-7384 (2015) 01-0073-03

在人教版高中物理选修3-5《动量守恒定律》一章中，教师用滑块在气垫导轨上的直线运动演示“验证动量守恒定律”的实验，这个实验研究的是一维碰撞动量守恒，但实际生活中更多的是二维或是三维的斜碰，如台球的碰撞、保龄球的碰撞、微观粒子的碰撞和天体的碰撞等^[1]。二维或三维运动是大学物理实验教学中的重要内容^[2]，在现有的普通物理实验教学中，一般只涉及两小球在直线上的碰撞，二维碰撞运动是新内容。

利用视频分析法探究小球“二维碰撞动量守恒”既有利于学生对动量守恒物理知识的完整理解，又有利于学生掌握利用多媒体技术及基本的数字化研究方法。本论文分别利用“连拍合成技术”“高速连拍技术”和“摄像技术”三种技术对小球二维碰撞动量守恒进行探究实验。

实验准备

1.实验工具与软件：CASIO (EX—FH100) 数码相机、计算机、三脚架、光滑的玻璃平面、水平仪、两个颜色不同大小质量相同的直径为25mm的小球、Mr.captor 频闪截屏软件、几何画板等。

2.实验环境与条件：在进行实验之前要保证平面和相机水平，玻璃面尽量光滑使摩擦力减少到最小。这里我们用到水平仪分别对相机与平面进行校准，如图1和图2。



图1 相机水平校准



图2 平面水平校准

实验过程

用数码相机的“连拍合成技术”“高速连拍技术”“摄像技术”结合频闪截屏软件与几何画板软件，分别对两球斜碰过程进行图形获取、图像处理、数据分析。

1. 连拍合成技术

(1) 图像获取

通过相机的BS功能键进入到情景模式区，选定“连拍影像合成”，如图3。



图3 连拍影像合成

拍摄的时候，相机会以5张/秒的连拍速度捕捉一个连贯的动作。两个颜色不同、大小质量相同的玻璃球作为研究对象，在光滑平面上，让绿色小球碰撞蓝色小球，拍摄小球的二维碰撞过程，获得连拍合成图像，如图4所示。



图4 连拍合成图片

(2) 图像处理

① 将图片粘贴到“几何画板”中，利用“点工具”将图片中的绿色小球和蓝色小球分别用绿色圆点和蓝色圆点表示出来。

② 点击工具栏中的自定义工具项目，选择圆工具中过三点的圆（虚线），如图5所示。选择图片中圆表面的任意三点，软件就能将小球圆心标识出来。



图5 过三点的圆示意图

③ 选择移动箭头，鼠标移动到圆上点击鼠标右键，会出现如图6所示的对话框，选择隐藏圆。圆框消失后，将鼠标移动到圆表面的三个点，点击右键，选择隐藏点，依次将三点全部隐藏，最终圆心就能确定了。

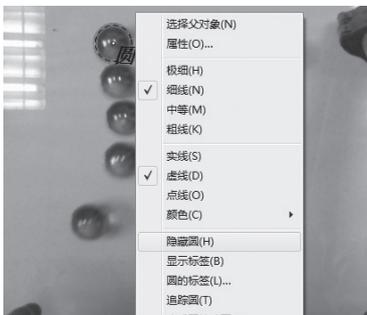


图6 隐藏圆示意图

④ 选中各点点击“度量”菜单中的“横坐标”“纵坐标”就可以显示小球所在位置的坐标值，再点击“显示”菜单中的“隐藏照片”。

图像处理结果如图7所示。

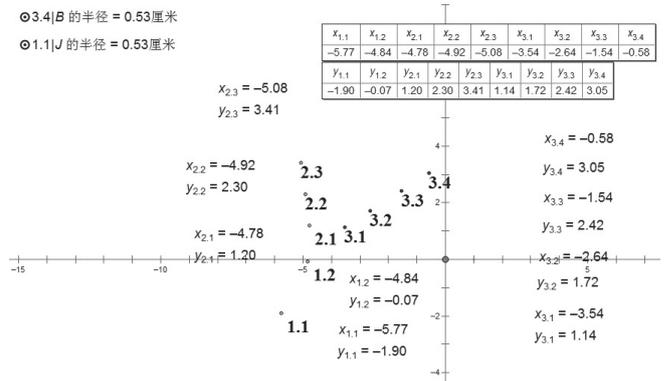


图7 连拍合成技术图像处理结果

(3) 数据分析

选定各点坐标再点击“数据”菜单中的“制表”，可以得到横纵坐标的表格。由于玻璃板光滑，可以认为小球近似做匀速直线运动，速度可以通过 $v = \frac{s}{t}$ 得到，其中 $t = \frac{1}{5}s$ 。经过计算算得在x方向动量误差为9.7%，在y方向动量误差为4.9%，平均误差为7.3%。在误差允许的范围，小球二维碰撞过程的动量守恒得到验证。

(4) 注意事项

此相机的连拍速度是5张/秒，如果物体运动速度太快，相机合成效果不明显；物体运动速度太慢，画面重叠，所以在做实验前要了解相机的连拍速度，以便对小球运动的速度合理控制。

2. 高速连拍技术

按连拍（HS）按钮，如图8所示，将连拍速度设置为40fps，最多连拍幅数设定为30，预先记录连拍设置为0.3s。半按快门钮，进行预先记录拍摄，等到理想拍摄时机时，完全按下快门钮，拍摄想要的图片。两个颜色不同、大小质量相同的玻璃球作为研究对象，在光滑平面让绿球碰撞静止的蓝球，连拍小球的二维碰撞过程，然后通过几何画板对图像进行拼接处理。

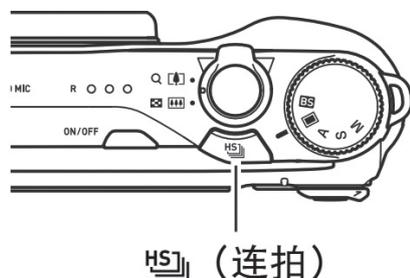


图8 连拍按钮

光滑平面连拍：绿球碰撞静止的蓝球，如图9所示。



图9 光滑平面高速连拍图片

图像处理与数据分析步骤与连拍合成技术相同，最后算得误差平均值为3.5%。

3. 视频频闪截屏技术

在拍摄方式中，将动画方式旋钮转至 (HD/STD)，选择高速动画 (HS)，按动画按钮开始拍摄，分别在光滑平面让蓝球碰撞静止的绿球和非光滑平面让蓝球与绿球互撞，碰撞完成后，再按动画按钮结束拍摄。然后用频闪截屏软件Mr.Captor对拍摄的视频进行频闪截屏，点击“选项”菜单中“参数”命令，将弹出参数窗体，在“定时/视频”中设置频闪周期为0.1秒，设定图片保存路径。点击“”按钮，在屏幕上圈定单摆振动的截屏区域，再点击鼠标右键，在弹出的菜单中选取“开始定时捕捉”命令，于是所捕捉的图片被记录在相应的文件夹中并被自动编号。最后通过几何画板对图像进行拼接处理。在进行图像处理时，处理好一张图片之后，隐藏图片，拖进下一个图片，逐个处理，这样每个小球运动的轨迹就能记录在几何画板之中了。经过计算算得平均误差为26.75%。

三种技术总结与对比

通过对这三种技术进行实验，总结出每种技术的特点与差异，总结如表1。

表1 三种技术特点与对比

指标技术	图像获取	图像处理	数据分析	平均误差	误差评价
连拍合成技术	对碰撞时刻的捕捉较难，需要进行多次实验	图像处理非常简便，只需要分析一张合成图；图片清晰度较高	只能连拍5张，数据较少，不利于减小误差	7.3%	受相机配置的限制，采集的图像数据较少，且相机连拍速度有限，因此照片会略有拖影，影响数据分析。
高速连拍技术	曝光时间比较长，拍摄到理想的图片较容易	需要在几何画板中对每张图片进行合成之后再进行分析；图像比较清晰	最多可拍30张照片，数据足够丰富，有利于减小误差	3.5% 误差较小	此方法曝光时间较长，且图像清晰，所以数据分析较为准确。

视频频闪截屏技术	对相机操作非常简便	需要用截屏工具对合适的视频片段进行频闪截屏，再用几何画板图像合成与分析；图片拖影严重、清晰度不够影响误差	没有限制，可根据需要选择照片数量	26.75% 误差较大	由于相机配置有限，拍摄速度较慢，拍摄的视频清晰度不高，导致误差较大。
----------	-----------	--	------------------	-------------	------------------------------------

根据以上分析，得出此实验误差与数码相机的配置有极大的关系。教师可以根据教学条件以及课程的需要选择以上方法探究二维碰撞动量守恒问题。

随着科学技术的发展，数码设备已经普及到千家万户。运用数码相机探究二维运动打破了只限于探究一维运动的常规，并且数码相机携带方便，易于学生课下探究^[1]。探究性学习包括提出问题、收集数据、形成解释、评价结果、检验结果等过程，而运用数码设备则可以帮助学生更便捷地收集数据、分析数据，有助于培养学生的科学探究能力。

如今多媒体技术越来越多地进入了学校的课堂教学，物理教师对数码相机、多媒体技术宠爱有加，正是因为它改变着教师的教学思想和设计理念，让教学设计的思路越来越宽。运用数码设备进行探究实验可以使课堂更加生动，让原本抽象的问题可视化，使学生更易理解接受，也让我们原来想到但做不到的事情变成现实。@

参考文献

- [1] Jon Young, Conservation Of Momentum In a Two-Dimensional Collision EB/OL. <http://hadron2.bk.psu.edu/Phys211/08Consvmom.pdf>, 2006-11-06/2012-4-25.
- [2] Brandon Williams, Two Dimensional Collision Physics EB/OL. <http://members.shaw.ca/mathematica/ahabTutorials/2dCollision.html>, 2012-4-25.
- [3] 项华. 中学物理教学与信息技术整合[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2013, 3.

(作者单位：北京师范大学物理学系)