

模拟仿真与实物演示的创新性融合应用

——以受阻平抛运动为例

黄俊源*, 刘璿琪*, 刘子瑞, 王郑旺, 周小卫#

云南大学物理与天文学院, 云南 昆明

收稿日期: 2024年3月11日; 录用日期: 2024年4月10日; 发布日期: 2024年4月17日

摘要

大学物理中的知识概念一直以抽象度高及逻辑强而著称。如何构建有效的教学方式, 成为了高校教育工作者迫切关心的问题。采用可视化仿真及实物演示早已被接受为有效的方法, 但它们的独立使用许多时候都流于形式, 不能引发学生辩证性的思考和对知识点的深入掌握。本研究以简单的平抛运动为例, 将其“理想运动”、“实物演示结果”与“模拟仿真”三者相结合, 形成立体化的实践教学方案, 引导学生思考潜在的物理问题, 有效提升了教学的深度, 增强了学生对实际物理过程的认识, 为力学中运动案例的设计提供了一定的借鉴。

关键词

模拟仿真, 实物演示, 受阻平抛运动, 创新性融合, 实践教学

Innovative Integration of Simulation and Material Object Demonstration

—A Case Study of Horizontal Hindered Projectile Motion

Junyuan Huang*, Yingqi Liu*, Zirui Liu, Zhengwang Wang, Xiaowei Zhou#

School of Physics and Astronomy, Yunnan University, Kunming Yunnan

Received: Mar. 11th, 2024; accepted: Apr. 10th, 2024; published: Apr. 17th, 2024

Abstract

The knowledge concepts in college physics have always been known for their high abstraction and

*共同第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 黄俊源, 刘璿琪, 刘子瑞, 王郑旺, 周小卫. 模拟仿真与实物演示的创新性融合应用[J]. 教育进展, 2024, 14(4): 493-498. DOI: 10.12677/ae.2024.144544

logicality. How to construct effective teaching methods becomes an urgent concern for university educators. Visual simulation and material object demonstration have long been accepted as useful methods, but their independent application is often superficial, which cannot stimulate students' dialectical thinking and is not conducive to deeply grasping the knowledge points for students. This study takes simple horizontal projectile motion as an example, combining its "ideal motion", "result of material object demonstration" and "simulation" to form a three-dimensional practical teaching plan. It guides students to deliberate potential physical problems, improves the depth of teaching effectively and enhances students' understanding of actual physical process. Our work provides a certain reference for design of motion cases in mechanics.

Keywords

Simulation, Material Object Demonstration, Horizontal Projectile Hindered Motion, Innovative Integration, Practical Teaching

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

大学物理是普通高等院校理工类学生的一门基础必修课, 其具有抽象度高和概念性强的特点。同学们普遍反映在大学物理的学习过程中碰到了一定困难, 不少知识点晦涩难懂, 其复杂的推演过程不易理解。授课教师也在积极探索教学改革之路, 以提升该课程的趣味性及学生的接纳度。针对大学物理讲授, 现已提出了多种创新且有效的方法, 如线上线下混合、翻转课堂、模拟仿真、实物演示及实践性教学等 [1] [2] [3], 而单一的方式效果不显著。在将不同方式穿插应用时, 若融合方式不恰当, 很多时候会显得累赘和冗杂, 其教学效果自然不佳。本研究我们选取简单的平抛运动为例, 探究其受阻运动过程中的动力学问题, 将“模拟仿真”和“实物演示”两种手段进行有机融合, 让学生既动手也动脑, 构建新型的实践性教学方式。这样一方面有效体现了物理知识点的形象化阐释, 另一方面引导学生挖掘和探索简单现象背后潜在的物理问题。本研究为大学物理教学改革中有效激发学生兴趣, 推进本科阶段素质教育以及培养新时代探究型和创新性人才提供了一定参考。

2. 模拟仿真和实物演示在大学物理教学中的应用

模拟仿真和实物演示是两类提升物理教学趣味性及形象性的常用方法。其中, 模拟仿真以其可操作性强、便于实施及容易推广得到了广泛应用。现今我们处于信息化社会, 教师要与时俱进, 将先进的信息化工具应用到传统课堂中。但仿真毕竟不是真实的事物现象, 若能让学生“眼见为实”, 将会起到不错的教学效果。实物演示就是一种形象生动且带有实践性的物理教学方式, 能给学生留下较深的印象, 但有些时候要将演示设备带到课堂上却具有一定挑战。如何将两者有机结合、各取所长, 并适当地引入必要的讨论及分析, 预期将能有效提升当前大学物理的教学水平。

2.1. 模拟仿真在教学中的应用

在信息化快速发展的今天, 近些年采用模拟仿真手段开展大学物理教育的意识已经普及, 在很多大学的物理课堂中均能看到模拟仿真的使用 [4] [5]。利用仿真手段可以减少演示设备的使用及器材的损耗, 还能避免学生因接触危险的演示实验所引发的危险。模拟仿真最初多用于复杂的科学技术领域, 如今已

大量进入课堂中。通过模拟仿真可实施大到宇宙、小至分子原子的虚拟实验, 这样一方面拓展了学生的物理知识范围, 另一方面也不再受限于仪器及场地等要求。

2.2. 实物演示在教学中的应用

在物理规律的建立过程中, 开展实验既是探索规律的必要条件, 也是验证物理规律的根本方法。正所谓“百闻不如一见”, 可将演示设备搬到物理课堂上, 通过实物演示将抽象的物理概念具象化, 建立起学生抽象思维与形象思维之间的联系[6] [7] [8]。许多力学方面的简易实验便于在课程上演示, 像振波、波动、碰撞及抛体运动等。如讲授驻波内容时, 可利用弦振动驻波演示器让同学们观察驻波形成的波形、波腹及波节的位置, 以更好地理解波的合成。通过让学生亲历物理现象及规律展现的过程, 激发学生的求知欲。

总之, 模拟仿真与实物演示各有其优点。模拟仿真可较为便利地将形象思维和抽象思维相关联及拓展, 而实物演示可直接地再现物理概念及过程, 并锻炼学生的实践及观察能力。在理论介绍基础上, 尝试两者的有机融合, 开创立体化的讲授方式, 有利于推动物理教学的创新。

3. 理想平抛运动与实物演示设计

平抛是一种简单且生活中常见的受阻运动。在理论讲授时一般忽略阻力因素, 仅考虑理想的抛体运动[7]。本研究将客观的阻力因素包含进来, 并通过计算机仿真定量地修正到平抛运动的轨迹方程中。此外, 设计实物演示并记录相关数据, 将其作为模拟仿真的参考轨迹, 以开展后续的拟合优化。

3.1. 理想平抛运动的轨迹方程及其受阻修正

令小球自左向右水平抛出, 质量为 m , 初速度为 v_0 , 地表重力加速度为 g , 任意 t 时刻的水平位移为 x , 竖直位移为 y 。在相应 t 时刻, x 和 y 方向的分速度分别为 v_x 和 v_y 、分加速度分别为 a_x 和 a_y 。

所受空气阻力分别为 f_x 和 f_y 。设水平向右及竖直向上为 x 及 y 轴的正方向, 小球抛出位置为坐标原点。因本研究仅涉及低速平抛, 故令小球所受空气阻力大小与速度成正比关系, 相应的空气阻力系数为 b 。由牛顿第二定律在水平方向建立动力学方程, 经定积分可得小球水平位移 x 与时间 t 的函数关系式(1), 具体过程为:

$$\begin{aligned} f_x = -bv_x = ma_x = m \frac{dv_x}{dt} &\Rightarrow -\frac{b}{m} dt = \frac{1}{v_x} dv_x \\ \Rightarrow \int_{v_0}^{v_x} \frac{1}{v_x} dv_x = \int_0^t -\frac{b}{m} dt &\Rightarrow v_x = v_0 e^{-\frac{b}{m}t} \end{aligned}$$

由

$$x = \int_0^t v_x dt \Rightarrow x = \frac{mv_0}{b} \left(1 - e^{-\frac{b}{m}t} \right) \quad (1)$$

同理, 由竖直方向受力分析, 可得小球竖直方向位移 y 与时间 t 的函数关系式(2), 具体过程为:

$$\begin{aligned} f_y - mg = bv_y - mg = ma_y = m \frac{dv_y}{dt} \\ \Rightarrow \frac{b}{m} v_y - g = \frac{dv_y}{dt} &\Rightarrow \frac{1}{\frac{b}{m} v_y - g} dv_y = dt \\ \Rightarrow \int_0^{v_y} \frac{1}{\frac{b}{m} v_y - g} dv_y = \int_0^t dt &\Rightarrow v_y = -\frac{mg}{b} \left(1 - e^{-\frac{b}{m}t} \right) \end{aligned}$$

由

$$y = \int_0^t v_y dt \Rightarrow y = -\frac{mg}{b} \left[t + \frac{m}{b} \left(e^{-\frac{bt}{m}} - 1 \right) \right] \quad (2)$$

3.2. 受阻平抛运动的实物演示设计

我们选取质量 $m = 2.7 \times 10^{-3}$ kg 的乒乓球(精密电子天平称量)作为平抛物体, 取 $g \approx 9.78$ m/s² (昆明当地值)为重力加速度。在水平桌面及竖直墙面上张贴网格纸, 采用每秒 30 帧的相机分别拍摄记录乒乓球于水平面滚动的轨迹和竖直面的抛体轨迹, 以此分别获得乒乓球的水平初速度 $v_0 = 1.1$ m/s 和竖直面内的平抛轨迹。实验共记录了乒乓球在竖直面内的 11 帧中心位点, 具体如表 1 所列。

Table 1. Record of the center position of a ping-pong ball in both horizontal (x) and vertical (y) directions

表 1. 乒乓球在水平(x)和竖直(y)方向的中心位点记录

x/cm	y/cm	x/cm	y/cm
0.0	0.0	19.6	-17.6
1.0	-0.7	23.3	-25.1
4.5	-1.7	26.3	-32.0
8.3	-3.7	29.7	-41.0
12.3	-7.6	32.9	-52.0
15.5	-12.0	36.0	-62.6

4. 模拟仿真与实物演示的拟合优化

本部分我们采用 MATLAB 软件输入理想平抛及修正后受阻平抛的动力学方程进行仿真。通过调节方程中的阻力系数 b 值以形成不同受阻情况下的平抛轨迹, 再将其与基于最小二乘法拟合所得的实物演示轨迹进行对比分析, 最后获得契合实验记录的仿真优化结果。另外, 系统探讨优化后的模拟仿真与实物演示之间仍存在偏差的潜在原因。

4.1. 模拟实际平抛过程的拟合操作

首先, 我们在 MATLAB 中输入无阻力理想平抛的运动学方程, 即上述函数关系式(1)和(2)中取阻力系数 $b = 0$, 获得了图 1(a)所示的时间 t 与 x/y 坐标的关系曲线, 以及图 1(b)所示仿真轨迹图。

相应实物演示记录通过最小二乘法拟合, 获得了实验数据曲线。图 1 给出了无阻力理想平抛仿真结果与实物演示的对比情况。可见, 两者在轨迹上有明显偏差, 并着重体现在竖直(y 轴)方向。

如图 2 所示, 通过改变受阻平抛运动轨迹方程中的阻力系数 b 值, 将其从 $b_1 = 0.5 \times 10^{-3}$ 一直增大调节到 $b_2 = 3.0 \times 10^{-3}$ 。此过程中当 $b = 1.8 \times 10^{-3}$ 时, 我们获得了模拟结果与实验数据最佳的契合效果。可见, 当 b 值太小, 模拟结果接近无阻力理想平抛; 当 b 值增大, 模拟结果不断靠近真实的实验数据; 当 b 值过大, 模拟结果整体偏离至实验数据的下方。

图 3 针对最佳仿真效果(b 取 1.8×10^{-3})进一步给出时间 t 与其 x 和 y 方向的关系曲线。虽然此时轨迹上与实验数据已较为吻合, 但偏差性仍明显地体现在水平(x 轴)方向。这说明真实情况下 x 和 y 方向不能完全取相同的 b 值, 即使低速下阻力系数还与抛体的速度、形状及空气密度等有着复杂的关系。

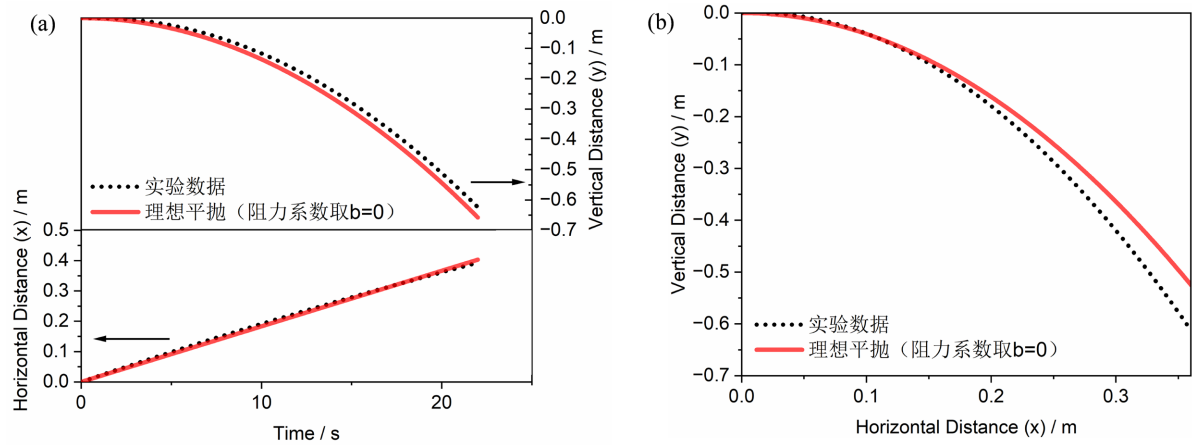


Figure 1. Comparison diagram of the ideal projectile motion without resistance and the actual demonstration with an object
图 1. 无阻力理想平抛与实物演示的对比图

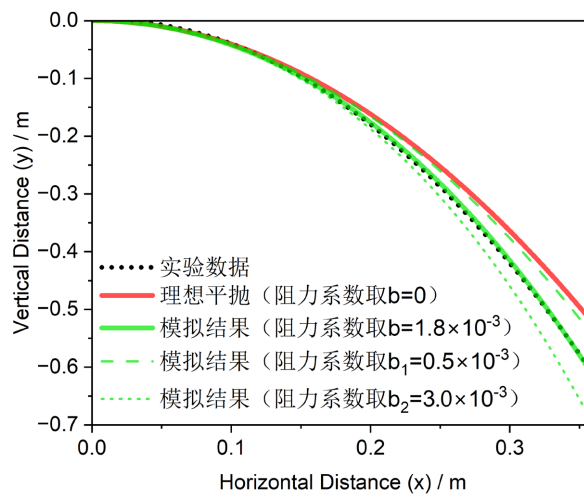


Figure 2. Optimization process diagram of simulation modeling
图 2. 模拟仿真的优化过程图

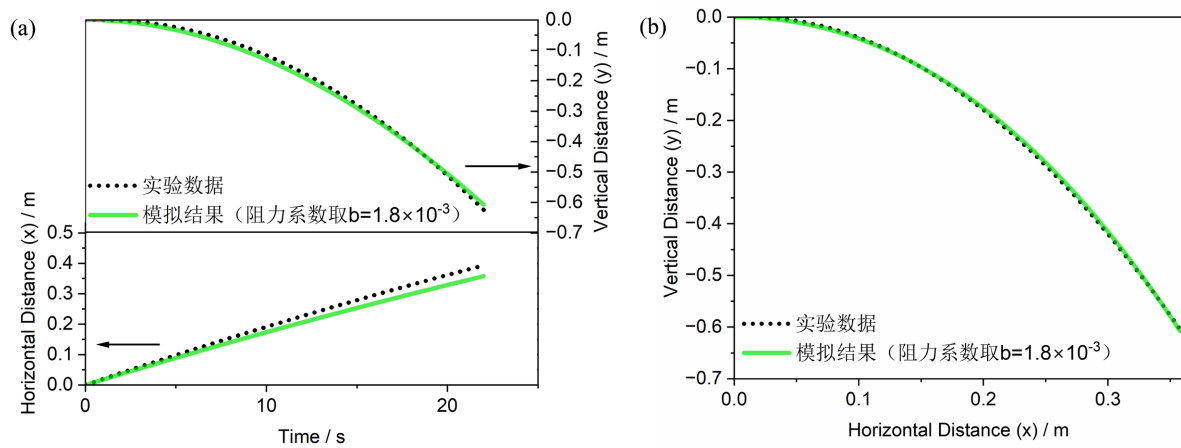


Figure 3. Comparison diagram of optimized simulation results and actual demonstration
图 3. 优化后的模拟结果与实物演示的对比图

通过上述内容, 我们可看出模拟仿真与实物演示的创新性融合, 将给大物理学教学的立体化设计提供有效途径, 有利于学生探究性能力的培养。基于两者的有机融合, 能够引导学生更加全面和深入地认识物理现象。这有利于激发学生的物理兴趣, 打造探索性、拓展性及实践性的物理教学新模式。

4.2. 模拟结果与实物演示的偏离性分析

我们的模拟仿真仅考虑到理想状态且低速下乒乓球所受的空气阻力问题, 但现实平抛中阻力系数会随乒乓球的运动状态而发生微小变化。故实物演示图像并非与模拟仿真的结果完全一样, 两者在轨迹上总是存在误差。此外, 抛球不可避免地呈旋转状态, 其将受到马格努斯效应及伯努利原理所涉及的流体压力。抛球旋转时其表面的空气流速将不同, 由伯努利定理, 较低流速处压强减小、较高流速处压强大, 故抛球会受到微小的压力差, 导致其运行轨迹的改变。另外, 地球是一个巨大的旋转体, 其作为参考系时, 抛球将受科里奥利力的影响。讲授中需引导学生挖掘这些潜在的物理效应, 以拓展学生的知识面, 培养其探究性能力。

5. 结论与展望

本论文以简单的平抛运动为例, 从理想运动、实物演示及模拟仿真三个层面依次讨论, 并深入挖掘该运动背后潜在的物理问题, 使学生对平抛运动形成更为客观及立体化的认识, 并将“理论”、“实践”与“仿真”有机结合, 为力学运动中教学案例的设计提供了有益参考。通过此平抛运动案例的构建, 不仅让学生更深刻地理解物理知识点, 还全面了解到了理想模型与实际现象之间存在差距的原因[9] [10], 旨在培养新时期探究性及实践性人才, 推进本科阶段素质教育的现代化。

基金项目

云南大学本科教学成果培育项目(2021L16); 云南省级大学生创新项目(S202210673030); 云南大学优秀教研室建设项目(2022515); 云南大学教育教学改革研究重点项目(2023Z02); 云南省基础研究面上项目(202301AT070139); 国家自然科学基金(12264054)资助。

参考文献

- [1] 杨阔, 郭娟, 雷晓蔚. 大学物理可视化仿真实验系统设计与实现[J]. 实验室研究与探索, 2019, 38(2): 81-84, 94.
- [2] 谭守标, 王晓蒲, 霍剑青. 大学物理仿真实验教学系统中霍尔效应虚拟实验课件的设计实现[J]. 计算机工程与应用, 2003, 39(4): 42-44.
- [3] 李姣姣, 周雨青, 董科, 等. 参与式学习教学实践的模拟设计与分析——以拟建金课“大学物理”为例[J]. 大学物理, 2020, 39(12): 41-49, 60.
- [4] 覃方丽. 基于现代信息技术的大学物理形象化教学[J]. 大学物理, 2021, 40(4): 50-52, 59.
- [5] 朱天惠, 任鸿翔, 赵玉然. 基于物理模型的海浪真实感模拟研究[J]. 计算机仿真, 2021, 38(10): 492-496.
- [6] 罗贤清. 演示实验在农林高校大学物理教学中的作用探讨[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2006(4): 129-130, 139.
- [7] 李燕秋, 代伟, 罗微, 等. 平抛运动演示仪的改进[J]. 大学物理, 2015, 34(9): 27-30.
- [8] 王荣超, 徐小雯, 柳辛迪, 等. 同极滚轮放置在铝箔上的运动状况的研究[J]. 大学物理, 2022, 41(10): 75-79.
- [9] 马增威, 汪志勇, 韦建卫, 等. 大学物理中流体力学问题的计算机模拟研究[J]. 大学物理, 2016, 35(10): 17-19, 34.
- [10] 曹小鸽, 杨杨. 平行板电容器的尺寸效应[J]. 大学物理, 2021, 40(3): 8-11.