

基于 Mathematica 的高中力学问题可视化教学研究

——以斜抛运动和有空气阻力抛体运动为例

朱炎凤^{1,2}

¹ 湖南科技大学物理与电子科学学院 湖南湘潭

² 智能传感器与新型传感器材料湖南省重点实验室 湖南湘潭

【摘要】在高中物理力学知识体系中，部分物理概念抽象晦涩、逻辑关联性强，传统讲授式教学难以帮助学生直观认知并灵活应用规律。本文以斜抛运动和有空气阻力抛体运动为研究案例，基于牛顿第二定律，推导出不同情境下的运动学方程与运动微分方程；借助 Mathematica 软件编写代码，绘制斜抛运动的轨迹图，并通过交互式仿真实现了不同空气阻力条件下的运动动态模拟，据此对比分析了不同状态下抛体运动的演化特征。研究表明：Mathematica 软件能够将复杂的物理公式与抽象物理模型转化为可视化图像与动态过程，为学生观察抛体运动规律、发现不同阻力情形下对抛体运动轨迹的影响提供直观支持，并在一定程度上弥补传统课堂实验演示的不足，对高中物理力学开展信息化教学提供参考。

【关键词】 Mathematica 软件；可视化；抛体运动；力学问题

【收稿日期】 2025 年 11 月 5 日

【出刊日期】 2025 年 12 月 9 日

【DOI】10.12208/j.pstr.20250012

Research on the visualization teaching of high school mechanics problems based on Mathematica

— Taking oblique projectile motion and projectile motion with air resistance as examples

Yanfeng Zhu^{1,2}

¹ School of Physics and Electronic Science, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan, Hunan

² Hunan Key Laboratory of Intelligent Sensors and Novel Sensor Materials, Xiangtan, Hunan

【Abstract】 In the mechanics system of high school physics, some of physical concepts are abstract and highly logical, so traditional teaching methods make it difficult for students to comprehend intuitively and apply them flexibly. The paper takes the oblique projectile motion and projectile motion with air resistance as examples, and derives the different conditions of the kinematic equations and differential equations based on the Newton's second law. Using Mathematica software to write code and plot the trajectory graph of the oblique projectile motion. At the same time, through interactive simulation, can achieve the motion dynamic simulations in the different air resistance conditions, compare and analyze the feature of the oblique projectile motion in different states. The results indicate that Mathematica software can transform complex physical formulas and abstract concepts into visual figures and dynamic process. It provides intuitive support for students to observe the rule of projectile motion and find the influence of different resistance conditions on the trajectory. At the same time, it makes up for the complement of traditional class experimental demonstration effectively and offer a reference for information-based teaching of high school physics mechanics.

【Keywords】 Mathematica software; Visualization; Projectile motion; Mechanics problems

抛体运动是人教版必修二第五章第四节的内容，在高中物理教学中具有重要地位。然而，对于初学者而言，由前期所学的直线运动到更为复杂的曲线

运动学习过程往往存在一定的困难；且在课堂教学中，不同情境下的抛体运动过程难以完整展示，这进一步增大了学生建立清晰物理模型的难度，同时

也是教师教学过程中的一大挑战^[1]。

Mathematica 软件是由 Wolfram Research 公司开发的一款数学软件。这款软件所具备交互式操作、数值模拟、图像可视化、符号运算以及动画演示等强大的功能,使其在物理教学中展现出巨大的优势^[2]。Mathematica 软件不仅能够将学生难以想象的物理过程转化为清晰的图像,还可通过交互式操作模拟不同参数条件下物理现象的动态变化,从而有助于学生直接观察实验现象,构建理论模型,同时也为课堂教学提供了生动的实验演示。

在本文中,我们以斜抛运动和有空气阻力抛体为例,利用 Mathematica 软件将这两种情形下的运动过程转化为直观的物理图像,帮助学生深入理解抛体运动的基本规律,并探究如何借助 Mathematica 软件实现高中力学问题的可视化教学。

1 理想斜抛运动

在传统物理教学中,由于实验设备条件受限,且抛体运动过程太快,理想的斜抛运动往往难以在课堂上通过实验直接呈现。为此,我们可以借助

Mathematica 软件对不同参数条件下的斜抛运动进行数值模拟,以此来进行可视化教学,帮助学生更直观地理解斜抛运动的基本特点。

为了方便起见,假设抛体质量为 m , 初速度为 v_0 , 与水平方向的夹角为 θ 。根据牛顿第二定律,可推导出抛体的运动学方程:

$$\begin{cases} x = v_0 t \cos \theta \\ y = v_0 t \sin \theta - \frac{1}{2} g t^2 \end{cases} \quad (1)$$

基于上述公式,在 Mathematica 软件中编写代码^[3],可得到不同参数条件下斜抛运动的二维轨迹图。本文在理想斜抛运动中取重力加速度为 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ 。

图 1 展示了不同抛射速度下的运动轨迹。在抛射角度固定时,随着抛射速度的增大,水平射程和射高均随之增大,且斜抛运动的抛物线轨迹具有对称性。这一规律是由于水平射程 $x_m = \frac{v_0^2 \sin 2\theta}{g}$ 和射高 $H_m = \frac{v_0^2 \sin^2 \theta}{2g}$,二者都只依赖于抛射速度与抛射角度。

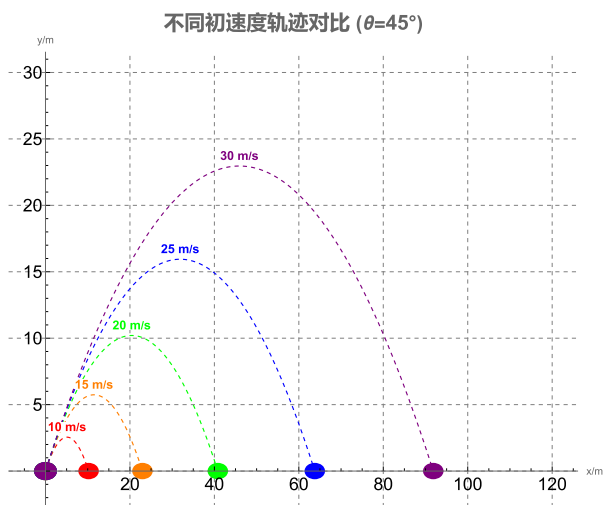


图 1 不同抛射速度下斜抛运动轨迹对比图

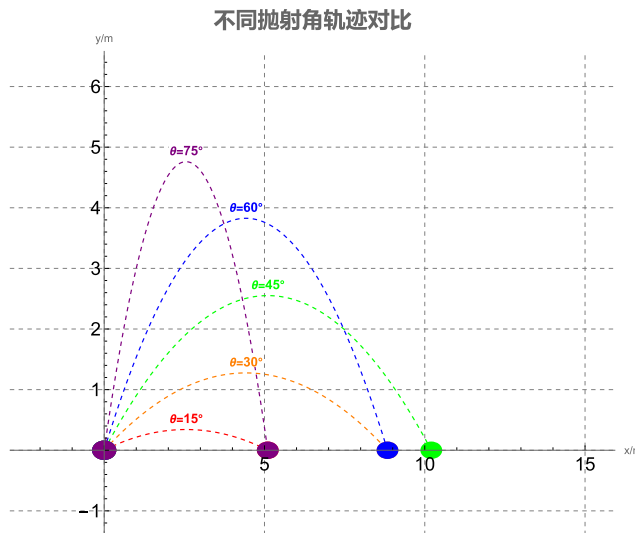


图 2 不同抛射角度下斜抛运动轨迹对比图

图 2 则展示了不同抛射角度下的斜抛运动轨迹。从图中可以观察到,当抛射速度的大小不变时,随着抛射角度 θ 的增大,射高逐渐增大,但水平射程却没有随着 θ 的增大而单调递增。通过这一反常现象,教师可以引导学生基于射程的表达式 $x_m = \frac{v_0^2 \sin 2\theta}{g}$,自主探究水平射程随抛射角度非单调变化的规律^[4]。具体而言:当 $\theta = 45^\circ$ 时,水平射程达到最大值;当 $\theta < 45^\circ$ 时,水平射程随着 θ 的增大而不断增大;而当

$\theta > 45^\circ$ 时,水平射程则随着 θ 的增大而减小。将理论推导与物理图像相结合,有助于学生将理性与感性相结合,从而更加直观地理解相关知识点。

2 有空气阻力抛体运动

接下来,我们考虑存在空气阻力情况下的抛体运动。设抛体质量为 m , 初速度为 v_0 , 任意时刻与水平方向的夹角为 α ,所受空气阻力的大小与速度满足: $f = -kv^n$ 。

当抛体在低速运动时,取 $n = 1$ 。根据牛顿第二定律,容易得到抛体的动力学微分方程为:

$$\begin{cases} m \frac{d^2x}{dt^2} = -k \frac{dx}{dt} \\ m \frac{d^2y}{dt^2} = -mg - k \frac{dy}{dt} \end{cases} \quad (2)$$

当抛体在高速运动时,取 $n = 2$,此时 $f = -kv^2$,根据牛顿第二定律可得:

$$\begin{cases} m \frac{d^2x}{dt^2} = -kv^2 \cos \alpha \\ m \frac{d^2y}{dt^2} = -kv^2 \sin \alpha - mg \end{cases} \quad (3)$$

由于 $\sin \alpha = \frac{v_y}{v}$, $\cos \alpha = \frac{v_x}{v}$, 则动力学微分方程表示为:

$$\begin{cases} m \frac{d^2x}{dt^2} = -k \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2} \frac{dx}{dt} \\ m \frac{d^2y}{dt^2} = -k \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2} \frac{dy}{dt} - mg \end{cases} \quad (4)$$

基于上述微分方程,在一定参数下可以利用

Mathematica 软件绘制运动轨迹图^[5]。为了便于数值模拟和相关计算,此处取抛体质量 $m = 1\text{kg}$,重力加速度 $g = 9.8\text{m/s}^2$,初速度 $v_0 = 20\text{m/s}$,抛射角 $\theta = 45^\circ$ 。在空气阻力情形下,线性阻力 $f = -kv$ 与平方阻力 $f = -kv^2$ 的阻力系数纲不同:对于线性阻力而言, k 的单位为 kg/s ;对于平方阻力而言, k 的单位则为 kg/m 。本文设置两种情形下的阻力系数均为 $k = 0.15$ 。

从图3中可以观察到,在考虑空气阻力情况下,抛体的水平射程和射高比无阻力情形下的小。无空气阻力时的运动轨迹为抛物线,且具有对称性,与前面所描述的斜抛运动相对应。而当存在空气阻力时,运动轨迹不再对称,上升阶段和下落阶段的斜率变化存在明显差异;特别在平方阻力的情形下,下落阶段轨迹通常比上升阶段更陡峭。通过这幅图的对比教学,可以帮助学生更加直观地理解实际生活中的斜抛运动一定受到空气阻力的影响,且不同阻力条件下的运动轨迹也不相同^[6]。

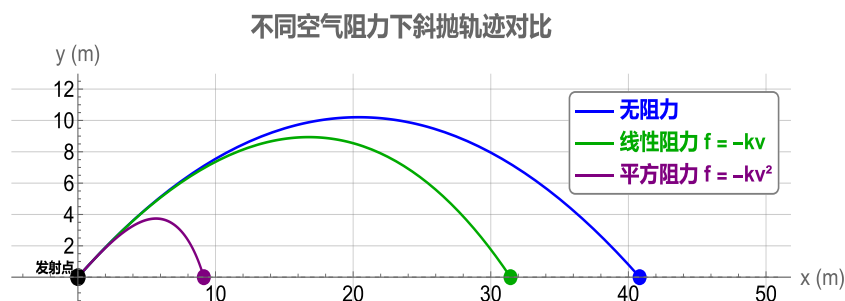


图3 不同空气阻力下斜抛运动轨迹对比

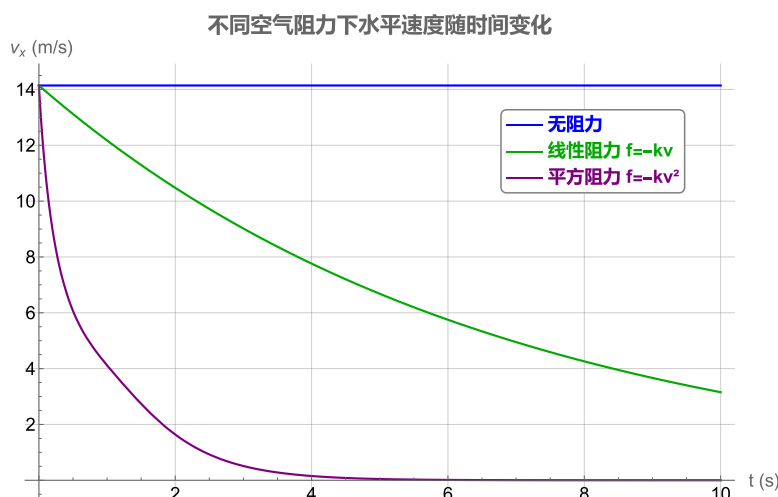


图4 不同空气阻力下水平速度随时间的变化图

为了直观地展示空气阻力对速度变化的影响,图 4 和图 5 分别给出了不同空气阻力条件下,抛体的水平分速度和竖直分速度随时间变化的特征。由图 4 可以看出,无空气阻力时,抛体的水平方向上不受力的作用,水平分速度保持不变;当空气阻力满足 $f = -kv$ 时,水平分速度曲线呈现指数形式衰减,其变化规律可以通过求解微分方程得出 $v_x = v_{x0}e^{-\frac{k}{m}t}$;而当阻力为平方阻力时,即 $f = -kv^2$,随

着时间的增大,水平分速度 v_x 逐渐趋于 0。

由图 5 我们可以分析竖直分速度的变化规律,当无空气阻力时,竖直方向仅受到重力作用,抛体做匀变速直线运动,即抛体的竖直分运动为一条斜线;当空气阻力满足 $f = -kv$ 时,抛体的竖直分运动关于时间变化的曲线呈抛物线,同样可以通过求解微分方程得出 $v_y = v_{y0}e^{-\frac{k}{m}t}$;当阻力为平方阻力时,即 $f = -kv^2$,随着时间的增大, v_y 逐渐趋于一个稳定的值。

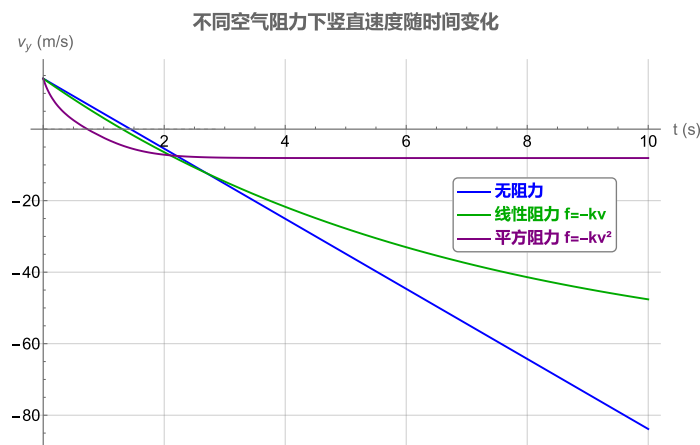


图 5 不同空气阻力下竖直分速度随时间的变化图

通过展示这三幅图,打破了传统教学中因实验设备受限而难以呈现真实实验现象的困难,将物理情境拓展到更真实的生活场景,提醒了同学们生活中的运动均需考虑空气阻力的影响,从而拉近了物理知识与实际生活的距离,进一步加深了学生对斜抛运动的理解。

3 结语

本文以斜抛运动和有空气阻力抛体为例,基于 Mathematica 软件编写代码,直观地展示了不同空气阻力条件下斜抛运动的特征。通过将抽象的物理规律和复杂的实验过程进行“可视化”处理^[7],不仅形象地向学生展示了斜抛运动的主要特点,还有助于学生对相关物理知识的理解与掌握。利用 Mathematica 软件将高中力学问题可视化,能够辅助学生观察和分析物理规律。该方法有助于创设多样化的物理情境,丰富物理教学内容,为高中的信息化教学提供参考。

参考文献

[1] 寻银锭,詹杰.Mathematica 在“平抛运动”教学中的应用

[J].当代教育理论与实践,2015,7(6):13-16.

[2] 荆丽梅. Mathematica 软件在物理教学中的应用[J]. 湖南中学物理, 2012 (5): 75-76.

[3] 江小萍,文伟.抛体运动仿真实验的设计与应用[J].物理通报, 2024(10):116-120.

[4] 黄川洋,黄河,程灿儿,等.MATLAB 辅助高中物理教学实践研究[J].广西物理, 2022, 43(4):205-209.

[5] 王学光.借助 Mathematica 初探有阻力的抛体运动规律[J]. 第二课堂, 2021(9):9-10.

[6] 郭雪鹏.考虑空气阻力与速度平方成正比的斜抛运动[J]. 物理通报, 2017(6).

[7] 李竞武,胡文.Mathematica 辅助物理教学直观化[J].中国科教创新导刊, 2010.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

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



OPEN ACCESS