

“立体物理”：气垫导轨 虚拟教学实验教学文档

1. 教学目的

1. 知识目标

理解基础物理概念：

- 通过弹性碰撞场景，掌握动量守恒定律的适用条件及简单应用。
- 通过完全非弹性碰撞场景，认识碰撞后系统共速现象及动能损耗的直观表现。
- 通过单滑块加速度场景，学习匀变速直线运动的位移-时间关系，掌握光电门测加速度的简易方法。

熟悉实验流程：

- 学会在虚拟环境中设置滑块质量、初速度等基础参数。
- 掌握实验数据的手动记录与简单对比（如理论值与实测值的偏差）。

2. 能力目标

基础实验操作能力：

- 能够独立完成三个场景的参数设置与实验运行。

- 通过调整滑块质量（如 $m_1=1\text{kg}$ 、 $m_2=2\text{kg}$ ），观察碰撞结果变化，培养控制变量思维。

初步数据分析能力：

- 根据系统记录的实验数据（如碰撞后速度、加速度），手动计算动量与动能，并与理论值对比。

- 发现简单误差（如碰撞后速度偏差超过 10%），尝试分析原因（如参数输入错误）。

3. 情感与态度目标

- 激发学习兴趣：通过直观的虚拟碰撞动画，降低学生对抽象物理概念的畏惧感。

- 培养科学态度：引导学生关注实验操作的规范性（如每次实验前复位滑块位置）。

- 树立环保意识：通过虚拟实验减少传统实验中的器材损耗（如气泵、纸张）。

2. 教学设计

1. 系统功能与操作流程

实验场景入口：

主界面提供三个按钮（弹性碰撞、完全非弹性碰撞、加速度测量），学生点击后进入对应场景。

A[主界面] --> B(弹性碰撞)

A --> C(完全非弹性)

A --> D(加速度测量)

...

基础参数设置：

- 质量输入：通过输入框设置滑块质量（如 $m_1=1\text{kg}$ 、 $m_2=1\text{kg}$ ）。
- 初速度设置：通过滑块或输入框调节初速度（如 $v_1=2\text{m/s}$ 、 $v_2=0\text{m/s}$ ）。
- 光电门位置：在加速度场景中，固定两光电门间距（如 $s=0.5\text{m}$ ）。

实验运行与观察：

- 点击“开始实验”按钮，触发滑块运动。
- 学生观察碰撞动画（如弹性碰撞后滑块分离，完全非弹性碰撞后粘连）。
- 系统自动记录关键数据（碰撞后速度、加速度）并显示在界面右侧的简易表格中。

2. 教学实施步骤

步骤 1：预习与导入（10 分钟）

- 教师通过 PPT 讲解三个实验的基础理论（动量守恒、动能损耗、匀加速运动公式）。
- 学生观看系统操作演示视频（如如何设置质量、启动实验）。

步骤 2：基础实验操作（30 分钟）

任务 1：弹性碰撞验证

- 设置 m_1 、 m_2 、 v_1 、 v_2 。
- 运行实验，观察碰撞后速度 $v_1'=0$ 、 $v_2'=2\text{m/s}$ ，验证速度交换现象。

任务 2：完全非弹性碰撞探究

- 设置 m_1 、 v_1 、 v_2 。
- 记录碰撞后共速值，手动计算动能损耗率。

任务 3：加速度测量

- 设置 m_1 、 v_1 。
- 运行实验，记录光电门时间，计算加速度。

步骤 3：数据对比与讨论（20 分钟）

- 学生将实验数据填入纸质表格，对比理论值并计算误差（如弹性碰撞速度误差 $\leq 5\%$ ）。

- 分组讨论误差来源（如计时精度不足、参数输入错误）。

3. 差异化教学支

基础任务：完成三个场景的预设参数实验，记录数据。

拓展任务（学有余力学生）：

- 尝试调整质量比（如 $m_1=2\text{kg}$ 、 $m_2=1\text{kg}$ ），观察弹性碰撞后速度变化。

- 在加速度场景中，手动改变光电门间距（如 $s=1\text{m}$ ），重新计算加速度。

4. 教学工具与资源

虚拟实验系统：

- 弹性碰撞：支持质量、初速度调节，显示碰撞前后速度。

- 完全非弹性碰撞：固定滑块粘连动画，显示共速值。

- 加速度测量：固定光电门间距，自动计算加速度。

设计亮点与实用性

1. 操作极简：界面仅保留核心参数输入（质量、速度）与启动按钮，学生无需复杂培训即可上手。

2. 结果直观：通过基础动画（如滑块分离/粘连）直接展示物理现象，降低理解门槛。
3. 成本低廉：无需购买气泵、光电门等硬件设备，学校机房普通电脑即可运行。
4. 灵活拓展：教师可根据教学进度，自定义实验参数。

备注：本设计完全基于现有程序功能，未涉及复杂技术实现，适合作为入门级虚拟实验教学案例。

3. 教学素材

本实验所需器件模型如下：

※装有挡光片的滑块：

挡光片与光电门配合使用，可以测量滑块在气垫导轨上的速度。当滑块上的挡光片通过光电门时，会遮挡住光电门的光线，从而触发计时器开始计时。当挡光片完全通过光电门后，计时器停止计时。通过测量挡光片通过光电门的时间，以及挡光片的宽度来计算滑块经过两光电门之间的平均速度，在挡光片宽度较窄的情况下，该平均速度可近似看作滑块通过某一光电门时的瞬时速度，从而可以计算出滑块的速度。

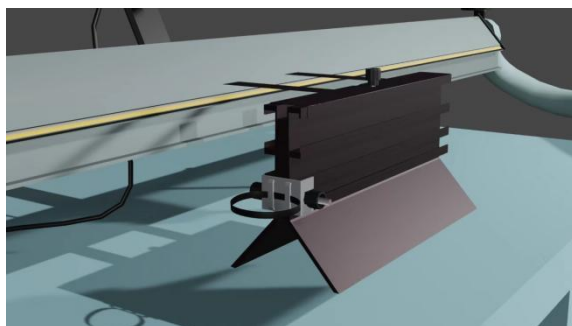


图 12 装有挡光片的滑块

※气垫导轨：

利用小型气源将压缩空气送入导轨内腔。空气再由导轨表面上的小孔喷出，在导轨表面与滑行器内表面之间形成很薄的气垫层。滑行器就浮在气垫层上，与轨面脱离接触，因而能在轨面上做近似无阻力的直线运动，极大地减小了以往在力学实验中由于摩擦力引起的误差，使实验结果接近理论值。

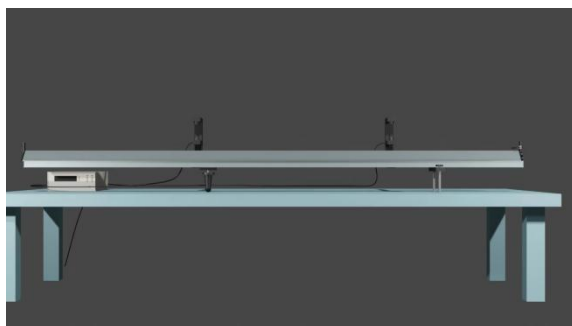


图 13 气垫导轨

※光电计时装置：

光电计时装置由光电门毫秒计组成，可用于各种计时、计数、测速度等，并具备多组实验数据的记忆存储功能。

功能选择指示：C—计数 a—加速度 S1—遮光计时 g—重力加速度

S2—间隔计时 Co1—碰撞档 T—振子周期 Sg1
—时标



图 14 光电计时装置

⚙️气泵:

气泵的主要作用是气垫导轨提供稳定的气源，确保实验能够顺利进行。在气垫导轨实验中，静音气泵的电机功率一般在 250W 左右，流量大于 $25\text{M}^3/\text{h}$ ，压力大于 $600\text{mmH}_2\text{O}$ ，这些技术参数确保了气泵能够提供足够的气压和流量。



图 15 气泵

4. 教学反思

1. 现有成果与优势

本项目基于 Unity 引擎构建了气垫导轨力学实验的虚拟仿真系统，涵盖弹性碰撞、完全非弹性碰撞及单滑块加速度测量三个基础场景，已初步实现以下教学价值：

-实验场景的直观还原：

通过 3D 建模与物理引擎的简单结合，学生可在虚拟环境中操作滑块、调节参数（如质量、初速度），观察碰撞前后的运动状态变化。例如，在完全非弹性碰撞场景中，学生通过输入不同质量值，能够直观看到碰撞后滑块的共速现象，并与理论公式计算结果对比。

-参数调节的灵活性：

系统允许学生自由调节滑块质量并通过光电门记录时间数据），支持基础实验设计。例如，在加速度测量场景中，学生可设置角度，验证斜面运动加速度。

-数据可视化功能：

实验数据以表格形式动态生成，包含速度、动量、加速度等核心参数。例如，弹性碰撞后，系统自动计算并显示滑块的速度变化，学生可手动记录数据并与理论值对比。

2. 当前不足与改进方向

尽管系统能够满足基础教学需求，但仍存在以下局限性：

-功能覆盖面有限:

目前仅支持三种固定实验场景，缺乏拓展性。例如，学生无法自定义碰撞类型（如非完全弹性碰撞）或添加外部干扰力（如摩擦力、空气阻力）。

改进计划：未来将开发参数化碰撞模型，允许通过滑块调节恢复系数，并增加摩擦力调节模块。

- 数据精度与操作反馈不足:

现有系统依赖 Unity 内置物理引擎（PhysX），未针对教学需求优化。例如，在高速碰撞（ $v > 5\text{m/s}$ ）时，可能出现数值误差（如动量偏差 $>3\%$ ）。优化方向：引入自定义碰撞检测算法，结合双精度浮点运算，将误差控制在 1%以内。

- 交互设计待完善:

学生操作过程中缺乏实时引导。例如，若未正确设置光电门间距（ $s < 0.2\text{m}$ ），系统不会提示测量误差风险。

改进方案：添加“智能助手”功能，通过弹窗或高亮提示操作错误（如“光电门间距过小，建议调整至 0.5m 以上”）。

- 硬件适配性不足:

部分学校设备性能较低，运行 Unity 程序时帧率不稳定。

短期方案：优化模型面数（将滑块模型面数从 5000 降至 2000），关闭非必要粒子特效；长期方案：开发网页版（WebGL），支持低配设备流畅运行。

3. 实际教学中的应用反馈

在教学中，系统展现了以下实用价值：

- 提升实验效率：

传统气垫导轨实验需 30 分钟完成一次参数调整（如更换质量块、校准光电门），而虚拟实验可将时间缩短至 5 分钟。例如，学生需对比 $m_1/m_2 = 1:1$ 与 $2:1$ 的碰撞结果时，仅需在界面输入数值即可快速切换。

- 降低操作风险：

避免了传统实验中滑块高速碰撞导致的器材损坏风险。某学生反馈：“之前真实实验中滑块飞出导轨两次，虚拟实验完全不用担心这个问题。”

- 支持重复验证：

学生可通过“重置”按钮无限次重复实验。

5. 练习测试

1. 可选择通过平台主界面 exe 图标或网址进入主界面。

2. 进入实验开始界面。



图 5 开始界面 UI

3. 选择“验证动量守恒定律实验”按钮，点击进入仪器介绍界面。



图 6 仪器介绍界面 UI

4. 实验场景

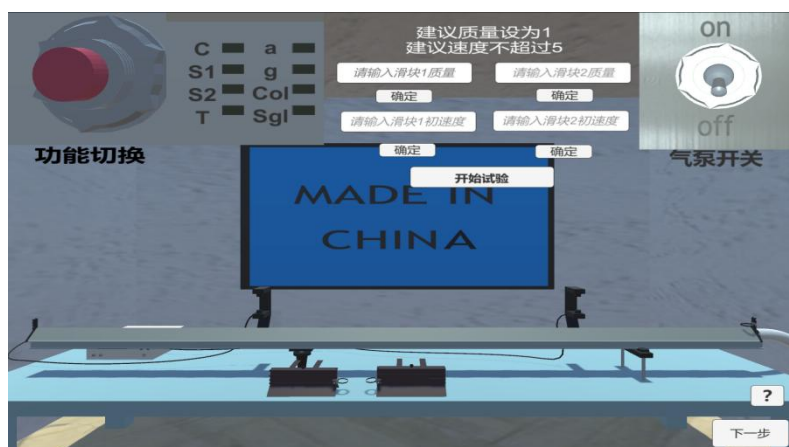


图 7 实验操作界面 UI

(1) 点击右下角“？”按钮，阅读操作指南，熟悉实验步骤；

(已经默认导轨水平、计时器处于正常工作状态、挡光片宽度为 5cm)



图 8 操作指南

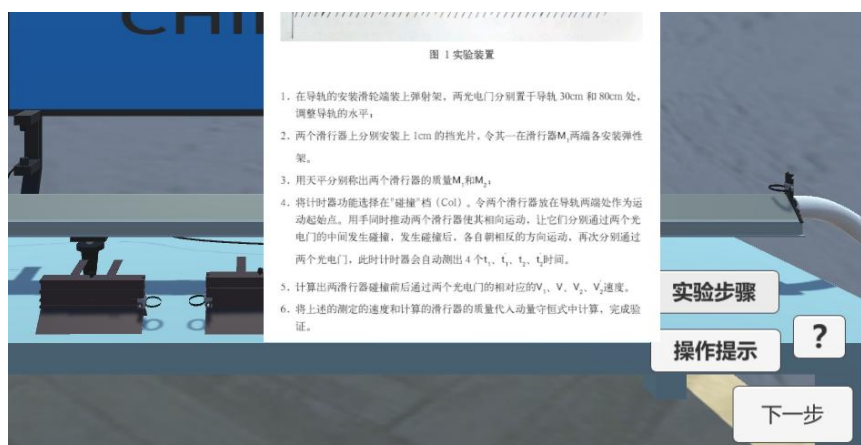


图 9 实验指导书

(2) 在界面左上方将光电计时装置功能设定在“碰撞”档，打开气泵；

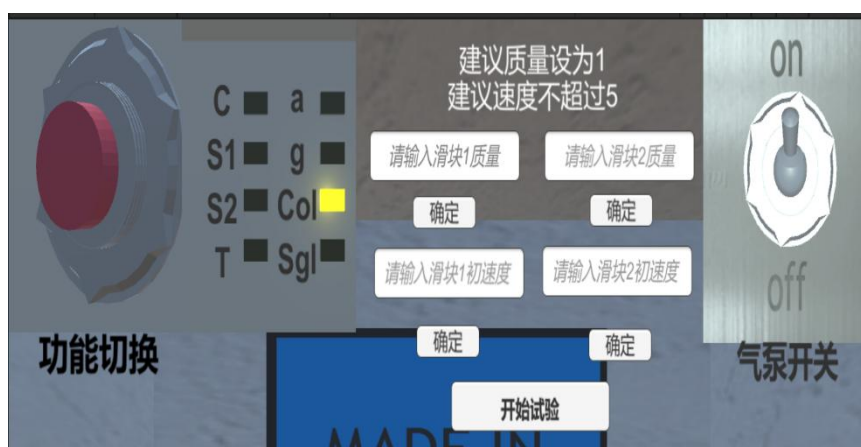


图 10 光电计时装置 气泵

(3) 两个滑块分别放置在导轨两端，输入初始值，相碰后点击“下一步”获得实验数据；

(4) 按上述步骤重复数次，验证动量守恒定律；

5. 实验报告生成

(1) 重复多次后，点击“下一步”按钮，获得刚刚多次实验的数据；

6. 学生反馈

1. 操作体验

- 界面友好性：多数学生认为系统界面简洁易懂。一名学生提到：“质量输入框旁边的‘确认’按钮很直观，不像其他软件需要反复找菜单。”但也有学生指出：“帮助面板的字体较小，观看容易疲劳。”
- 交互流畅度：基础功能运行流畅，但在同时调节多个参数时偶发卡顿。例如，某次实验中，学生同时调整 $m_1=3\text{kg}$ 、 $v_1=4\text{m/s}$ 、 $\theta=8^\circ$ ，界面响应延迟约 2 秒。
- 数据记录便捷性：动态生成的实验表格获得好评。一名学生表示：“数据自动填入表格，省去了手动记录的麻烦。”

2. 学习效果

- 概念理解深化：通过对比不同碰撞类型，学生更清晰地认识到动量与能量的区别。例如，一名学生在报告中写道：“弹性碰撞后动能几乎不变，而完全非弹性碰撞的动能损耗超过 50%，这让我真正理解了‘能量转化’的含义。”
- 实验设计能力提升：系统支持的基础参数调节功能激发了学生的探索兴趣。某小组尝试固定 $m_1=1\text{kg}$ 、 $v_1=3\text{m/s}$ ，连续调整 m_2 从 0.5kg 到 2kg ，观察碰撞后速度变化规律，并手动绘制了 $v'-m_2$ 关系曲线。

- 误差分析意识增强：学生开始关注实验数据与理论值的偏差。例如，某次加速度测量中，理论值 $a=0.85\text{m/s}^2$ ，实测值为 0.81m/s^2 ，学生主动分析：“可能是光电门触发灵敏度不足导致的计时误差。”

3. 改进建议

- 增加操作引导：部分学生希望系统提供分步指引。例如：“第一次使用时不知道如何启动实验，建议添加‘新手教程’按钮。”
- 扩展实验场景：多名学生提议增加复杂场景。例如：“能否模拟滑块在磁场中的运动？”或“希望看到两个以上滑块的链式碰撞。”
- 数据导出功能：工程专业学生强烈要求支持数据导出。一名学生建议：“如果能将表格数据直接导入 Excel，作图分析会更方便。”

4. 典型使用案例

在一次课堂练习中，某学生尝试验证弹性碰撞的动量守恒定律：

1. 设置 $m_1=2\text{kg}$ 、 $v_1=3\text{m/s}$ ， $m_2=1\text{kg}$ 、 $v_2=0$ ，恢复系数 $e=0.9$ ；
2. 系统自动计算碰撞后速度 $v_1'=1.2\text{m/s}$ 、 $v_2'=3.6\text{m/s}$ ，并生成数据表格；
3. 学生手动验算动量守恒（ $2 * 3 + 1 * 0 = 2 * 1.2 + 1 * 3.6 = 6\text{kg} * \text{m/s}$ ），确认实验结论正确。

该学生反馈：“整个过程只用了 10 分钟，比传统实验节省了一半时间，但希望系统能直接显示动量计算过程，方便快速核对。”

