

浙江大学

物理实验报告

实验名称: 碰撞实验

实验桌号:

指导教师:

班级:

姓名:

学号:

实验日期: 2025 年 12 月 23 日 星期二上午

(此处填实验选课系统内日期)

浙江大学物理实验教学中心

如有实验补做, 补做日期:

情况说明:

一、预习报告（10 分）

（注：将已经写好的“物理实验预习报告”内容拷贝过来）

1. 实验综述（5 分）

（自述实验现象、实验原理和实验方法，包括必要的光路图、电路图、公式等。不超过 500 字。）

一、实验现象

在气垫导轨上，滑块受推力后作近似无摩擦的匀速直线运动。完全弹性碰撞时，两滑块接触后迅速反向分离；完全非弹性碰撞时，两滑块依靠物理装置粘连，以相同的速度向同一方向继续运动。滑块通过光电门时，挡光片触发计时信号，数字毫秒计自动记录挡光时间并转换显示为滑块的瞬时速度。

二、实验原理

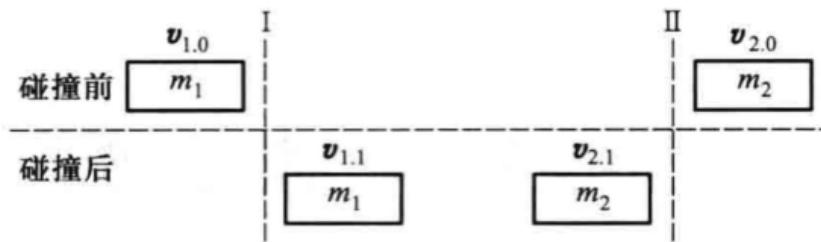


图 1 碰撞系统原理图

本实验旨在验证动量守恒定律。在系统所受合外力为零的理想条件下，碰撞前后的总动量保持不变。其基本表达式为：

$$m_1 v_{1.0} + m_2 v_{2.0} = m_1 v_{1.1} + m_2 v_{2.1}$$

对于完全弹性碰撞，系统机械能守恒，动能关系式为：

$$\frac{1}{2} m_1 v_{1.0}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2.0}^2 = \frac{1}{2} m_1 v_{1.1}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2.1}^2$$

滑块的测量速度通过挡光片宽度 Δ s 与挡光时间 Δ t 之比获得：

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

三、实验方法

1、调试准备：调节气垫导轨的支脚使水平仪水滴居中，确保导轨处于水平状态，并测定滑块质量及阻力系数。

2、速度采集：手动推送滑块使其在导轨上发生对心碰撞。

3、模拟实验：分别针对完全弹性碰撞和完全非弹性碰撞两种工况，利用数字毫秒计记录滑块经过光电门前后的初速度 $v_{1.0}$ 、 $v_{2.0}$ 及末速度 $v_{1.1}$ 、 $v_{2.1}$ （单位：cm/s）。

4、数据验证：将采集的质量与速度数据代入公式，计算碰撞前后的总动量 P 和总动能 E，分析守恒情况及误差来源。

2. 实验重点（3分）

（简述本实验的学习重点，不超过 100 字，3 分）

1、理解动量守恒定律及动能定理在不同碰撞工况下的适用条件。

2、掌握气垫导轨的调平方法及光电计时系统的测速逻辑。

3、学习如何通过测量 $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ 进行动量与能量转换的定量验证及误差分析。

3. 实验难点（2分）

（简述本实验的实现难点，不超过 100 字，2 分）

1、导轨水平调节较难，需严格调平以消除重力分量对动量守恒的影响。

2、掌握阻力干扰修正方法，需精确测定粘性阻力系数，以减小环境因素产生的系统误差。

二、原始数据（20分）

（将有老师签名的“自备数据记录草稿纸”的扫描或手机拍摄图粘贴在下方，完整保留姓名，学号，教师签字和日期。）

三、结果与分析（60分）

1. 数据处理与结果（30分）

（列出数据表格、选择适合的数据处理方法、写出测量或计算结果。）

（1）验证空气阻力与速度的关系

表 1 滑块质量

| 滑块质量/g |
|--------|
| 258.9 |

表 2 验证空气阻力与速度的关系实验数据记录

| 实验次数 | v1/(cm/s) | v2/(cm/s) | $\bar{v} = \frac{v_1+v_2}{2}$ /(cm/s) | a/(cm/s ²) | $F_r=ma/10^{-4}$ N |
|------|-----------|-----------|---------------------------------------|------------------------|--------------------|
| 1 | 34.88 | 34.66 | 34.77 | -0.17 | -4.40 |
| 2 | 39.41 | 39.17 | 39.29 | -0.21 | -5.44 |
| 3 | 39.60 | 39.33 | 39.47 | -0.23 | -5.95 |

| | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|--------|
| 4 | 43.39 | 43.04 | 43.22 | -0.33 | -8.54 |
| 5 | 45.99 | 45.64 | 45.82 | -0.39 | -10.10 |
| 6 | 53.87 | 53.49 | 53.68 | -0.44 | -11.39 |

Fr-v曲线

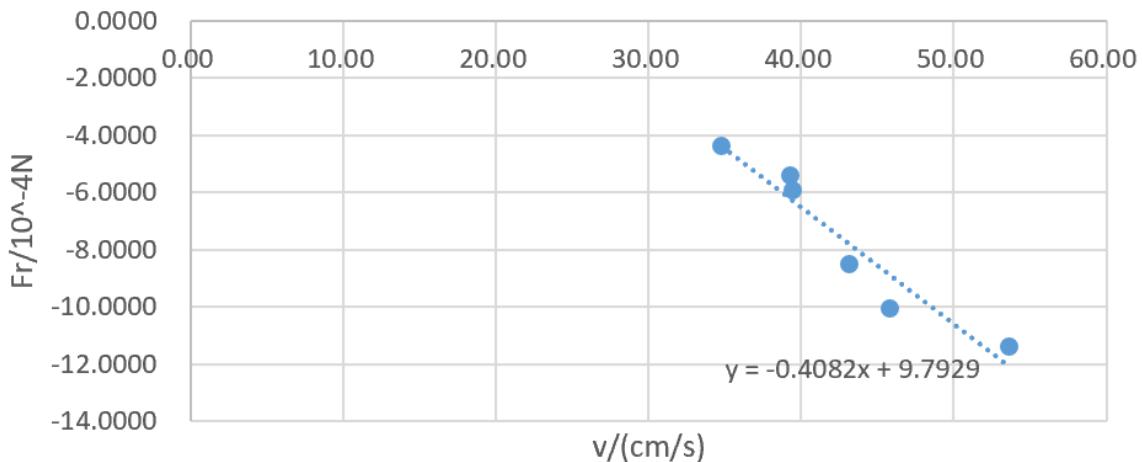


图 2 空气阻力与速度图

$k=-0.4082$, 在 $-0.6 \sim -0.3$ 之间

(2) 验证动量守恒定律

a) 完全弹性碰撞

表 3 滑块质量

| | | | |
|------|-------|------|-------|
| m1/g | 260.4 | m2/g | 258.9 |
|------|-------|------|-------|

表 4 完全弹性碰撞实验数据记录

| 实验次数 | v1.0/(cm/s) | v2.0/(cm/s) | v1.1/(cm/s) | v2.1/(cm/s) |
|------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1 | -51.48 | 54.6 | 46.56 | -44.32 |
| 2 | -43.43 | 35.52 | 29.68 | -40.37 |
| 3 | -37.38 | 31.8 | 27.85 | -34.96 |
| 4 | -33.83 | 30.25 | 27.22 | -32.00 |

表 5 完全弹性碰撞实验数据处理

| 实验次数 | p1 / 10^{-2} (kg m/s) | p2 / 10^{-2} (kg m/s) | E1/ 10^{-2} J | E2/ 10^{-2} J | $\Delta p /$ 10^{-2} (kg m/s) | $\Delta E /$ 10^{-2} J | p 相对 误差 | E 相对 误差 | 恢复 系数 |
|------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------|--------------------|--|-----------------------------|------------|------------|----------|
| 1 | 0.731 | 0.650 | 7.310 | 5.365 | 0.081 | 1.944 | 11.06% | 26.60% | 0.86 |
| 2 | -2.113 | -2.723 | 4.089 | 3.257 | 0.610 | 0.832 | 28.87% | 20.36% | 0.89 |
| 3 | -1.501 | -1.799 | 3.128 | 2.592 | 0.298 | 0.536 | 19.88% | 17.14% | 0.91 |
| 4 | -0.978 | -1.197 | 2.675 | 2.290 | 0.219 | 0.384 | 22.41% | 14.37% | 0.92 |

b) 完全非弹性碰撞

表 6 滑块质量

| | | | |
|------|-------|------|-------|
| m1/g | 258.9 | m2/g | 361.6 |
|------|-------|------|-------|

表 7 完全非弹性碰撞实验数据记录

| 实验次数 | v1.0/(cm/s) | v2.0/(cm/s) | v1.1/(cm/s) |
|------|-------------|-------------|-------------|
| 1 | -57.05 | 63.56 | 11.43 |
| 2 | -51.32 | 57.42 | 10.47 |
| 3 | -40.67 | 57.41 | 14.42 |
| 4 | -49.01 | 66.95 | 15.11 |

表 8 完全非弹性碰撞实验数据处理

| 实验次数 | p1/10 ⁻² (kg m/s) | p2/10 ⁻² (kg m/s) | E1/10 ⁻² J | E2/10 ⁻² J | Δ p/10 ⁻² (kg m/s) | Δ E/10 ⁻² J | p 相对误差 | Δ E/E ₁ | 恢复系数 |
|------|------------------------------|------------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------------|------------------------|--------|--------------------|------|
| 1 | 8.213 | 7.092 | 11.517 | 0.405 | 1.121 | 11.112 | 13.65% | 96.48% | 0 |
| 2 | 7.476 | 6.497 | 9.370 | 0.340 | 0.980 | 9.030 | 13.10% | 96.37% | 0 |
| 3 | 10.230 | 8.948 | 8.100 | 0.645 | 1.282 | 7.455 | 12.54% | 92.04% | 0 |
| 4 | 11.520 | 9.376 | 11.213 | 0.708 | 2.145 | 10.505 | 18.62% | 93.68% | 0 |

2. 误差分析 (20 分)

(运用测量误差、相对误差或不确定度等分析实验结果, 写出完整的结果表达式, 并分析误差原因。)

(1) 验证空气阻力与速度的关系

根据实验拟合得到的方程 $F_r = -0.4082v + 9.7929$, 阻力与速度在观测区间内呈现较好的线性相关性。误差成因分析如下:

系统误差: 拟合直线存在显著的正截距 ($9.7929 \times 10^{-4} N$), 而非理论上的过原点。这主要源于气垫导轨未能实现绝对水平, 导致滑块受重力沿导轨方向的分量干扰。此外, 气膜压力的不均匀性也会对滑块产生微小的持续推力或阻力。

测量误差: 在 $Re \approx 10$ 的条件下, 流体阻力开始偏离纯线性区域, 使得线性回归分析产生残差。

(2) 验证动量守恒定律

a) 完全弹性碰撞

根据表 5 数据, 完全弹性碰撞的动量相对误差分布在 11.06% 至 28.87% 之间。所有数据组的相对误差均控制在 30% 以内, 处于本实验允许的正常误差范围。由于实验设计中两滑块初始动量方向相反且数值接近, 系统总动量 p 的绝对基数极小。在这种情况下, 微小的速度测量偏差会在计算公式中被显著放大, 导致相对误差数值看起来偏高。

恢复系数 e 维持在 0.86 至 0.92 之间, 表明碰撞过程并非理想完全弹性, 滑块弹簧片的塑性形变、空气阻力以及声音辐射均损耗了部分系统机械能。

b) 完全非弹性碰撞

根据表 8 数据, 完全非弹性碰撞的动量相对误差在 12.54% 至 18.62% 之间。动量相对误差均远低于 30% 的阈值, 数据表现出良好的一致性, 有效验证了动量守恒定律。

实验测得的动能损失率高达 92% 至 96%。这符合物理预期, 即在完全非弹性碰撞中,

大部分系统初动能转化为装置粘连过程中的内能。

两滑块碰撞时的轴心对准偏差可能导致动量向侧向偏转，且粘连装置的瞬时作用力可能引起滑块在气垫上的局部震荡，增加了测量数据的不确定性。

3. 实验探讨（10 分）

（对实验内容、现象和过程的小结，不超过 100 字。）

本实验利用气垫导轨模拟近无摩擦环境，定量验证动量守恒定律。调平导轨后，通过光电门测量滑块初末速度 $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ 。实验观察到弹性碰撞后滑块迅速弹开，非弹性碰撞则粘连同向运动。数据分析证实了不同碰撞工况下动量的守恒性及能量转换规律。

四、思考题（10 分）

（解答教材或讲义或老师布置的思考题，请先写题干，再作答。）

1. 本实验的假设前提“碰撞前、后的速度均保持不变”是否合理？

合理。气垫导轨通过高压空气在导轨与滑块间形成极薄的气膜，使摩擦力减小到可以忽略不计的程度。在滑块通过光电门到碰撞发生的极短时间内，滑块受到的外力极小，其运动状态非常接近匀速直线运动，该假设是本实验定量计算的基础。

2. 还有其他的方法测量速度吗？

照相法：利用高速摄像机记录滑块的运动过程，记录滑块位移 Δx 随时间 t 的变化，通过数值微分获得速度。

超声波测距法：利用超声波传感器实时发射信号并接收滑块反射的回波，根据声波往返的时间差确定位置，进而通过 $\frac{\Delta x}{\Delta t}$ 计算速度。

3. 利用气垫导轨你还能设计哪些实验？

验证牛顿第二定律：研究滑块加速度 a 与所受合外力 F 以及系统质量 m 之间的定量线性关系。

验证动能定理：测量恒力对滑块所做的功 W 以及滑块动能的变化量 ΔE_k ，验证合外力做功与动能增量的等量关系。

注意事项：

1. 用 PDF 格式上传“实验报告”，文件名：学生姓名+学号+实验名称+周次。
2. “实验报告”必须递交在“学在浙大”本课程内对应实验项目的“作业”模块内。
3. “实验报告”成绩必须在“浙江大学物理实验教学中心网站” – “选课系统”内查询。
4. 教学评价必须在“浙江大学物理实验教学中心网站” – “选课系统”内进行，学生必须进行教学评价，才能看到实验报告成绩，教学评价须在本次实验结束后 3 天内进行。

浙江大学物理实验教学中心制