

南開大學

大学物理 课程实验报告

碰撞实验



学院 人工智能学院

专业 工科试验班（信息类）

姓名 黄子豪(组别序号 I8)

学号 2413989

2025 年 5 月 23 日

目录

| | |
|--------------------------------|---|
| 1 实验目的 | 3 |
| 2 实验原理 | 3 |
| 3 实验装置 | 4 |
| 4 实验操作 | 4 |
| 5 数据处理 | 4 |
| 5.1 以表中第四组数据为例计算完全弹性碰撞 | 4 |
| 5.1.1 恢复系数 | 4 |
| 5.1.2 动量百分差 | 5 |
| 5.1.3 动能百分差 | 5 |
| 5.1.4 验证 | 5 |
| 5.2 以表中的第三组数据为例计算完全非弹性碰撞 | 5 |
| 5.2.1 恢复系数 | 5 |
| 5.2.2 动量百分差 | 5 |
| 5.2.3 动能百分差 | 5 |
| 5.2.4 动能损失百分差 | 6 |
| 5.2.5 验证 | 6 |
| 5.3 实验结论分析 | 6 |
| 6 实验总结 | 6 |
| 7 思考题 | 6 |

图表

1 实验目的

1. 用对心碰撞特例检验动量守恒定律。
2. 了解动量守恒和动能守恒的条件。
3. 熟练地使用气垫导轨及数字毫秒计。

2 实验原理

1. 验证动量守恒定律

在平直导轨上，两个滑块作对心碰撞，在忽略阻力的情况下，在水平方向上应满足动量守恒定律成立的条件，即碰撞前后总动量不变。

$$m_1 u_1 + m_2 u_2 = m_1 v_1 + m_2 v_2 \quad (2.1)$$

式中 u_1 、 u_2 和 v_1 、 v_2 是两滑块在碰撞前后的速度，通过验证等式左右相等来验证动量守恒定律。

2. 碰撞后的动量损失

动能碰撞过程中是否守恒与碰撞的性质有关，该性质通常用恢复系数 e 表示：

$$e = \frac{v_2 - v_1}{u_1 - u_2} \quad (2.2)$$

当 $e=1$ 时，这类碰撞称为完全弹性碰撞。

当 $0 < e < 1$ 时，这类碰撞称为非弹性碰撞。

当 $e=0$ 时，这类碰撞称为完全非弹性碰撞。

3. $m_1 = m_2 \equiv m$ ，且 $u_2 = 0$ 的特定条件下，两滑块的对心碰撞

(1) 对完全弹性碰撞， $e=1$ 。实际条件不能达到理想化，若两滑块质量不严格相等，两挡光物的有效挡光宽度 Δs_1 和 Δs_2 也不严格相等，则碰撞前后的动量百分差 E_1 为

$$E_1 = \frac{|p_2 - p_1|}{p_1} = \left| \frac{m_2 \Delta s_2 \Delta t_1}{m_1 \Delta s_1 \Delta t_2} - 1 \right| \quad (2.3)$$

动能百分差 E_2 为

$$E_2 = \frac{|E_{k2} - E_{k1}|}{E_{k1}} = \left| \frac{m_2 \Delta s_2^2 \Delta t_1^2}{m_1 \Delta s_1^2 \Delta t_2^2} - 1 \right| \quad (2.4)$$

若 E_1 和 E_2 在其实验误差范围内，则说明上述结论成立。

(2) 对完全非弹性碰撞 动量和动能百分差 E'_1 及 E'_2 分别为

$$E'_1 = \frac{|p'_2 - p'_1|}{p'_1} = \left| \left(1 + \frac{m_2}{m_1} \right) \frac{\Delta t'_1}{\Delta t'_2} - 1 \right|$$

$$E'_2 = \frac{|E'_{k2} - E'_{k1}|}{E'_{k1}} = \left| \left(1 + \frac{m_2}{m_1} \right) \left(\frac{\Delta t'_1}{\Delta t'_2} \right)^2 - 1 \right|$$
(2.5)

则动能损失的百分误差为

$$E_{\Delta} = \left| 2 \left(1 + \frac{m_2}{m_1} \right) \left(\frac{\Delta t'_1}{\Delta t'_2} \right)^2 - 1 \right|$$
(2.6)

若 E'_1 及 E_{Δ} 在其实验误差内，则说明上述结论成立。

3 实验装置

气垫导轨及附件（包括滑块及挡光框各一对）、数字毫秒计、物理天平及游标卡尺等。

4 实验操作

1. 用物理天平测量两滑块（连同挡光物）的质量 m_1 及 m_2 ；
2. 用动态法调平导轨，使滑块在选定方向上可以进行匀速运动，速度应与实际碰撞时速度接近。
3. 用游标卡尺测出挡光物的有效挡光宽度 Δs_1 、 Δs_2 及 $\Delta s'_1$ ；
4. 在 $m_1 \approx m_2 \equiv m$ 的条件下，测出完全弹性和完全非弹性碰撞前后两滑块各自通过光电门 1 和 2 的时间 Δt_1 、 Δt_2 和 $\Delta t'_1$ 、 $\Delta t'_2$ 。

5 数据处理

$$m_1 = 130.98g, m_2 = 131.04g$$

$$\Delta s_1 = 49.30mm, \Delta s_2 = 50.04mm$$
(5.7)

| 次数 | 完全弹性 | | | | 完全非弹性 | | | |
|----|-----------------|----------------------|----------------|----------------------|-----------------|-----------------------|-----------------|-----------------------|
| | 碰前 | | 碰后 | | 碰前 | | 碰后 | |
| | $\Delta t_1/ms$ | $u/(m \cdot s^{-1})$ | $\Delta t_2/s$ | $v/(m \cdot s^{-1})$ | $\Delta t'_1/s$ | $u'/(m \cdot s^{-1})$ | $\Delta t'_2/s$ | $v'/(m \cdot s^{-1})$ |
| 1 | 112.32 | 0.43892 | 113.32 | 0.43505 | 129.6 | 0.3804 | 269.21 | 0.18313 |
| 2 | 104.3 | 0.47267 | 105.27 | 0.46832 | 192.62 | 0.25594 | 365.17 | 0.13501 |
| 3 | 197.78 | 0.24927 | 199.02 | 0.24771 | 176.65 | 0.27908 | 342.77 | 0.14383 |
| 4 | 184.47 | 0.26725 | 184.75 | 0.26685 | 181.62 | 0.27145 | 356.69 | 0.13822 |

5.1 以表中第四组数据为例计算完全弹性碰撞

5.1.1 恢复系数

$$e = \frac{v_2 - v_1}{u_1 - u_2} = \frac{0.43505}{0.43829} = 0.9985 \quad (5.8)$$

5.1.2 动量百分差

$$\begin{aligned} E_1 &= \frac{|P_2 - P_1|}{P_1} = \left| \frac{m_2 \Delta s_2 \Delta t_1}{m_1 \Delta s_1 \Delta t_2} - 1 \right| = \left| \frac{131.04 * 50.04 * 112.32}{130.98 * 49.30 * 113.32} - 1 \right| \\ &= 0.00665 = 0.665\% \end{aligned} \quad (5.9)$$

5.1.3 动能百分差

$$\begin{aligned} E_2 &= \frac{|E_{k2} - E_{k1}|}{E_{k1}} = \left| \frac{m_2 \Delta s_2^2 \Delta t_1^2}{m_1 \Delta s_1^2 \Delta t_2^2} - 1 \right| \\ &= \left| \frac{131.04 * 50.04^2 * 112.32^2}{130.98 * 49.30^2 * 113.32^2} - 1 \right| \\ &= 0.0148 = 1.48\% \end{aligned} \quad (5.10)$$

5.1.4 验证

发现三者均在误差范围内，动量守恒定律验证完毕。

5.2 以表中的第三组数据为例计算完全非弹性碰撞

5.2.1 恢复系数

显然 $e=0$

5.2.2 动量百分差

$$\begin{aligned} E'_1 &= \frac{|p'_2 - p'_1|}{p'_1} = \left| \left(1 + \frac{m_2}{m_1} \right) \frac{\Delta t'_1}{\Delta t'_2} - 1 \right| \\ &= \left| \left(1 + \frac{131.04}{130.98} \right) \left(\frac{176.65}{342.77} \right) - 1 \right| \\ &= 0.03095 = 3.095\% \end{aligned} \quad (5.11)$$

5.2.3 动能百分差

$$\begin{aligned}
 E'_2 &= \frac{|E'_{k2} - E'_{k1}|}{E'_{k1}} = \left| \left(1 + \frac{m_2}{m_1} \right) \left(\frac{\Delta t'_1}{\Delta t'_2} \right)^2 - 1 \right| \\
 &= \left| \left(1 + \frac{131.04}{130.98} \right) \left(\left(\frac{176.65}{342.77} \right) \right)^2 - 1 \right| \\
 &= 0.4687 = 46.87\%
 \end{aligned} \tag{5.12}$$

5.2.4 动能损失百分差

$$\begin{aligned}
 E_\Delta &= \left| 2 \left(1 + \frac{m_2}{m_1} \right) \left(\frac{\Delta t'_1}{\Delta t'_2} \right)^2 - 1 \right| \\
 &= \left| 2 \left(1 + \frac{131.04}{130.98} \right) \left(\left(\frac{176.65}{342.77} \right) \right)^2 - 1 \right| \\
 &= 0.01529 = 1.529\%
 \end{aligned} \tag{5.13}$$

5.2.5 验证

发现三者均在误差范围内，动量守恒定律验证完毕。

5.3 实验结论分析

通过两组数据的验证，我们验证了动量守恒定律，计算了碰撞后的动能损失，还验证了其都在范围内。

6 实验总结

1. 严格按照气垫导轨操作规则，维护气垫导轨；
2. 实验中应保证 $u_2 = 0$ 的条件，为此，在第一滑块未到达之前，先用手轻扶滑块 2，待滑块 1 即将与 2 碰撞之前再松手，且松手时不应给滑块以初速度；
3. 给滑块 1 速度时要平稳，不应该使滑块产生摆动；挡光框平面应与滑块运动方向一致，且其遮光边缘应与滑块运动方向垂直；
4. 严格遵守电子天平的操作规则；
5. 挡光框与滑块之间应该固定牢固，防止碰撞时相对位置改变，影响测量精度。

7 思考题

1. 完全弹性碰撞的特点是什么？试证明在完全弹性碰撞中，两物体分离的速度 $v_2 - v_1$ 等于碰撞前两物体相互接近的速度 $u_1 - u_2$ 。

碰撞前后动能守恒，恢复系数 $e=1$ 。根据 e 的公式可知 $u_2 - u_1 = v_2 - v_1$ 。

2. 设导轨质量远大于滑块质量，问：当滑块与导轨一端做弹性碰撞时，其恢复系数等于多少？

导轨质量远大于滑块质量，则滑块在与导轨一端碰撞后原速返回，则 $v_2 - v_1 = v_2 - v_1$ ，即 $e=1$ 。