

淮南师范学院实验报告

学院：电子工程学院 专业：物理学 班级:24 物理 1 班

学号:2414050120 姓名 缪雨轩 日期：2025.11.13

一、实验名称：碰撞规律的研究

二、实验目的：

- 利用气垫导轨研究一维碰撞的三种情况：完全弹性碰撞、完全非弹性碰撞和一般非弹性碰撞。
- 验证动量守恒定律和机械能转化规律。
- 测定碰撞时的恢复系数 e 。
- 掌握气垫导轨、光电计时器的使用方法及误差分析。

三、实验原理：

在水平气垫导轨上，滑块受到的摩擦阻力极小，可近似认为不受外力，因此系统动量守恒。

设两滑块质量分别为 m_1, m_2 ，碰撞前速度为 v_{10}, v_{20} ，碰撞后速度为 v_1, v_2 。

（一）动量守恒定律

无论何种碰撞，系统动量均守恒：

$$m_1 v_{10} + m_2 v_{20} = m_1 v_1 + m_2 v_2$$

（二）恢复系数 e

恢复系数定义为分离速度与接近速度之比：

$$e = \left| \frac{v_2 - v_1}{v_{10} - v_{20}} \right|$$

完全弹性碰撞： $e = 1$ ，动量守恒，动能守恒。

完全非弹性碰撞： $e = 0$ ，碰撞后两滑块粘在一起以共同速度 v 运动，动能损失最大。

（三）本次实验的特殊情形验证 ($m_1 > m_2, v_{20} = 0$)

完全非弹性碰撞：

理论上应满足： $m_1 v_{10} = (m_1 + m_2) v_{\text{共}}$

完全弹性碰撞：

由于实验数据中缺少 v_{10} 的直接测量值，我们可以通过验证碰撞后两滑块的速度比与质量比的关系来间接验证理论。

根据动量和动能守恒，当 $v_{20} = 0$ 且 $m_1 > m_2$ 时，理论推导可得：

$$v_1 = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_{10}, \quad v_2 = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_{10}$$

消去 v_{10} ，得到理论速度比 K_{theo}

$$K_{theo} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{2m_1}{m_1 - m_2}$$

四、主要仪器设备：

气垫导轨（含气源）、滑块（附挡光片）、光电计时器、天平、弹射架（或弹簧圈）、尼龙搭扣（或橡皮泥）、游标卡尺等。

五、实验步骤：

（一）装置调整： 开启气源，调节导轨水平，使滑块在导轨上能近似做匀速直线运动。

（二）质量记录： 记录两滑块质量 m_1 和 m_2 （包括挡光片等附件）。

（三）完全非弹性碰撞（重撞轻）：

（1）将较轻的滑块 m_2 静止置于两光电门之间。

（2）使较重的滑块 m_1 以一定初速度通过第一个光电门（测 v_{10} ），撞击 m_2 后结合，一起通过第二个光电门（测 v ）。

（3）改变 m_1 的初速度，重复测量 5 次。

（四）完全非弹性碰撞（轻撞重）：

（1）交换入射滑块，将较重的 m_1 静止放置。

（2）使较轻的 m_2 以一定初速度撞击 m_1 ，记录碰前速度和碰后共同速度。

（3）重复测量 5 次。

六、原始数据记录

实验条件：

滑块 1 质量 $m_1 = 341.75\text{ g} = 0.34175\text{ kg}$

滑块 2 质量 $m_2 = 154.49\text{ g} = 0.15449\text{ kg}$

表 1：完全非弹性碰撞数据（两滑块粘合）

序号	碰撞前 v_{10} (cm/s)	碰撞后 $v_{共}$ (cm/s)
1	71.02	48.31
2	90.33	59.70
3	86.21	57.27
4	100.00	65.57
5	92.51	62.19

表 2：弹性碰撞数据

序号	v_1 测量值 1 (cm/s)	v_2 测量值 (cm/s)	v_1 测量值 2 (cm/s)
1	28.02	98.17	28.64
2	18.76	63.01	20.21
3	33.42	97.09	30.60
4	25.03	88.18	25.90
5	26.50	92.68	27.02

七、数据处理：

（一）完全非弹性碰撞验证（验证动量守恒）

系统总质量 $M = m_1 + m_2 = 341.75 + 154.49 = 496.24\text{ g}$ 。

我们将计算碰撞前后的动量 P_{in} 和 P_{out} ，并计算相对亏损率 $\eta = \frac{P_{in}-P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$ 。

$$P_{in} = m_1 v_{10}$$

组别	$P_{in} / (g \cdot cm/s)$	$P_{out} / (g \cdot cm/s)$	相对偏差 $\eta(\%)$	结论
1	$341.75 \times 71.02 \approx 24271$	$496.24 \times 48.31 \approx 23973$	1.23%	符合
2	$341.75 \times 90.33 \approx 30870$	$496.24 \times 59.70 \approx 29626$	4.03%	符合
3	$341.75 \times 86.21 \approx 29462$	$496.24 \times 57.27 \approx 28420$	3.54%	符合
4	$341.75 \times 100.00 \approx 34175$	$496.24 \times 65.57 \approx 32538$	4.79%	符合
5	$341.75 \times 92.51 \approx 31615$	$496.24 \times 62.19 \approx 30861$	2.39%	符合

$$P_{out} = (m_1 + m_2) v_{共}$$

平均相对偏差： $\bar{\eta} \approx 3.2\%$

分析：

在完全非弹性碰撞实验中，碰撞后的动量始终略小于碰撞前动量（偏差均为正值），平均损耗约 3.2%。这主要是由于导轨气垫阻力、非完全水平分力以及碰撞瞬间的非理想形变导致的能量额外耗散。在实验误差允许范围内（<5%），动量守恒定律成立。

（二）弹性碰撞验证（验证速度比）

由于该组数据缺失初始速度 v_{10} ，我们采用速度比验证法。

根据理论公式，当 $m_1 > m_2$ 时，弹性碰撞后的理论速度比为：

$$K_{theo} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{2m_1}{m_1 - m_2} = \frac{2 \times 341.75}{341.75 - 154.49} = \frac{683.5}{187.26} \approx \mathbf{3.650}$$

我们计算实验测得的速度比 $K_{exp} = \frac{v_2}{v_1}$ ，并与理论值 K_{theo} 比较。

其中 $\bar{v}_1 = \frac{v_{1_meas1} + v_{1_meas2}}{2}$ 。

组别	$V^{-1}(\text{cm/s})$	$v_2(\text{cm/s})$	$K_{\text{exp}} = v_2/v^{-1}$	相对误差 δ (%)
1	$\frac{28.02 + 28.64}{2} = 28.33$	98.17	3.465	5.07%
2	$\frac{18.76 + 20.21}{2} = 19.49$	63.01	3.233	11.42%
3	$\frac{33.42 + 30.60}{2} = 32.01$	97.09	3.033	16.90%
4	$\frac{25.03 + 25.90}{2} = 25.47$	88.18	3.462	5.15%
5	$\frac{26.50 + 27.02}{2} = 26.76$	92.68	3.463	5.12%

分析：

大部分组别（第 1、4、5 组）的实验值与理论值的相对误差在 **5% 左右**，吻合度较好。

第 2、3 组误差较大（11%~17%），且实验比值 K_{exp} 均小于理论值 3.65。这意味着 v_2 偏小或 v_1 偏大。

物理原因分析：理论模型假设 $e = 1$ （完全弹性）。实际上，滑块上的弹簧钢圈并非理想弹性体，碰撞过程必然存在动能损失，导致恢复系数 $e < 1$ 。当 $e < 1$ 时，分离速度 $v_2 - v_1$ 会减小，导致比值 v_2/v_1 下降。这解释了为何所有实验比值均低于理论值。

八、实验结果与讨论:

（一）**动量守恒：**在完全非弹性碰撞实验中，系统碰撞前后的动量相对偏差平均值为 3.2%，在实验误差允许范围内验证了动量守恒定律。

（二）**碰撞规律：**在弹性碰撞实验中，实验测得的速度比规律与基于动量守恒和能量守恒推导的理论值基本一致。实验值的系统性偏低（约 5-10%）反映了实验环境并非理想的“完全弹性碰撞”，存在少量的机械能损耗。

（三）**误差来源：**主要误差来源包括气垫导轨的残余摩擦力、导轨调平的微小偏差（导致重力分量介入）、以及碰撞弹簧的非理想弹性特性。